www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

5e JAARGANG NUMMER 6 JUNI 1940

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

RÖNTGEN- EN ELECTRONENSTRALEN ALS HULPMIDDEL BIJ HET CHEMISCH EN METALLOGRAFISCH ONDERZOEK *)

door W. G. BURGERS.

539.26 : 539.27

Diffractiediagrammen, opgenomen met röntgen- of electronenstralen, kunnen inlichtingen verschaffen over de identiteit en over essentieele kenmerken der structuur van een materiaal. Na een beknopte uiteenzetting der grondslagen voor de interpretatie van dergelijke diagrammen worden de toepassingsmogelijkheden van het diffractie-onderzoek op scheikundig en metallografisch gebied aan een reeks voorbeelden toegelicht.

Inleiding

Een der machtigste hulpmiddelen voor het onderzoek van de structuur der materie is de buiging (diffractie), welke röntgenstralen bij het doordringen van de materie ondergaan. Dit verschijnsel, evenals de buiging van electronenstralen, welke we volgens het inzicht der moderne physica in vele opzichten mogen opvatten als een golfverschijnsel van analogen aard als de röntgenstralen, geeft uitsluitsel over de wijze van rangschikking der atomen (eventueel moleculen) in de kristallen. De zoo verkregen inzichten kunnen eenerzijds in verband worden gebracht met de aard der bindingskrachten tusschen de atomen, anderzijds met de eigenschappen der hieruit opgebouwde kristalcomplexen.

In het algemeen kan het diffractie-onderzoek dergelijke resultaten weliswaar slechts opleveren in de hand van onderzoekers, welke met de kristallografische grondslagen der structuurleer volkomen vertrouwd zijn en zich op dit gebied gespecialiseerd hebben. Daarnaast echter — en dit geeft de methode van het diffractie-onderzoek haar groote *practische* beteekenis — kunnen met deze methode ook vele chemische en metallografische vraagstukken bestudeerd en nader tot een oplossing gebracht worden, waarbij een diepe kristallografische kennis niet noodig is. Deze mogelijkheid berust hierop, dat het diffractie-onderzoek van een stof in principe gegevens verstrekt niet alleen betreffende de kristallografische bouw, maar ook over de kristallijne toestand, waarin de stof verkeert en waarvan vele harer eigenschappen blijken af te hangen, alsmede over haar chemische samenstelling. Tot de kenmerken van de kristallijne toestand is hierbij te rekenen de vraag, of de stof uit groote dan wel kleine kristalblokken is opgebouwd, verder die naar de volmaaktheid der kristalblokken en hun ligging in een bepaald materiaal. Ook zijn vaak veranderingen van de kristallografische structuur van verbindingen of legeeringen te constateeren en in verband te brengen met veranderingen hunner eigenschappen, zonder dat hiervoor de eigenlijke kristallografie te hulp behoeft te worden geroepen.

Alvorens de beteekenis van deze mogelijkheden aan de hand van eenige concrete voorbeelden nader toe te lichten, zal hier in het kort worden uiteengezet, op welke wijze uit de diffractie-verschijnselen de genoemde gegevens verkregen worden.

Grondslagen voor de interpretatie van diffractiediagrammen

Stippenfoto's

De atomen, waaruit een kristal is opgebouwd, zijn in een „ideaal" kristal op regelmatige wijze gerangschikt volgens elkaar doorsnijdende scharen van evenwijdige vlakken (*fig. 1*), de kristalroostervlakken, waarbij in elke schaar twee opeenvolgende vlakken een bepaalde afstand bezitten. Voor een gegeven kristal zijn al deze roostervlakken-

*) *Noot van de redactie:* In het onderstaande artikel geven we met toestemming van Prof. Dr. W. G. Burgers de hoofdzakelijke inhoud weer van de rede, door hem uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleeraar aan de Technische Hoogeschool te Delft op 15 Januari 1940. Van de toepassingsmogelijkheden, waarvan hier een samenvattend overzicht wordt gegeven, is een aantal reeds in de eerste en tweede jaargang van dit tijdschrift behandeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

afstanden vastgelegd, evenals de hoeken tusschen de verschillende elkaar doorsnijdende vlakkenscharen.

Valt nu een bundel röntgen- of electronenstralen op een kristal, dan worden deze stralen door de atomen in alle richtingen verstrooid. Tengevolge van interferentie heffen de verstrooide stralen elkaar echter in het algemeen op, behalve in zeer bepaalde richtingen. Voor ons voorstellingsvermogen is het zeer gemakkelijk, dat deze richtingen blijken beschreven te kunnen worden als diegene, waarin de primaire stralenbundel zou worden teruggekaatst, indien de roostervlakken spiegels waren.

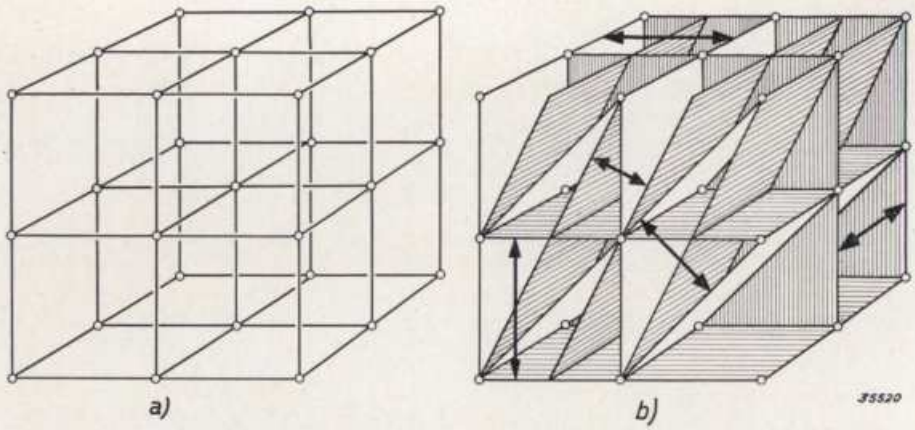


Fig. 1. De atomen zijn in een kristal regelmatig gerangschikt volgens een rooster, waarvan hier een eenvoudig type is weergegeven (*a*). Men kan de atomen in een dergelijk rooster gerangschikt denken op scharen van onderling evenwijdige vlakken, die elkaar onder bepaalde hoeken doorsnijden. Eenige vlakken van vijf dergelijke scharen (er zijn er natuurlijk veel meer) zijn hier aangegeven (*b*), met de bijbehoorende roostervlakkenafstanden.

Op een om het kristal heen geplaatste fotografische film zal dus, behalve een centrale vlek tengevolge van de niet verstrooide stralen van de primaire bundel, een zeer bepaald patroon van stippen ontstaan. Een dergelijke, zg. Laue-foto is in *fig. 2* weergegeven. Uit dit patroon kan, op grond van de genoemde eenvoudige spiegelbetrekking, de stand van alle kristalroostervlakken ten opzichte van de richting van doorlichting worden afgeleid. Op deze wijze kan men dus het kristalrooster leeren kennen, of — hetgeen voor ons hier belangrijker is — de ligging van het rooster (kristallografisch uitgedrukt: de stand der kristalassen) te weten komen.

Fig. 2. Stippenpatroon, dat verkregen wordt door de buiging van een röntgenbundel door een éénkristal (Laue-foto).

Voor het tot stand komen van een dergelijk stippenpatroon is de uitwendige begrenzing van het kristal tot op zekere hoogte onverschillig. Bestraalt men dus een praeparaat, dat uit een samenstel van grootere of kleinere kristallijne brokstukken met willekeurige begrenzing bestaat, zoo zal ieder dezer zg. kristallieten aanleiding geven tot een stippenfoto. Bij de meeste gewone materialen zijn de individueele kristallieten zoo klein, dat de röntgenbundel [1]), die bijv. een doorsnede van $^1/_2$ mm kan hebben, er verscheidene tegelijk treft. Het diffractiediagram vertoont dan als het ware een superpositie van een aantal afzonderlijke stippenpatronen. Is nu de ligging der kristallieten in het onderzochte praeparaat, wat de orientatie van hun kristalrooster betreft, geheel willekeurig, dan liggen de stippen min of meer gelijkmatig over de geheele foto verspreid, zooals in *fig. 3a* is te zien. Hebben de kristallieten echter bepaalde voorkeurstanden, dwz. vertoont het praeparaat een textuur, dan zijn de stippen in bepaalde groepjes opgehoopt, waarbij elk groepje aan kristalroostervlakjes van dezelfde „soort" beantwoordt, die tot de verschillende, ongeveer gelijk georienteerde kristallieten behooren. Fig. 3*b* is een voorbeeld van

[1]) Kortheidshalve spreken we hier en verderop alleen van röntgenstralen, waarbij echter doorgaans ook aan electronenstralen kan worden gedacht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

een dergelijke foto. De gemiddelde stand der kristallieten ten opzichte van de begrenzing van het praeparaat, dwz. het kristallografisch karakter der textuur, kan wederom door middel van het genoemde eenvoudige spiegelverband tusschen stip en roostervlak worden vastgesteld.

plastisch vervormde kristallen, waar tengevolge van het verschuiven van kristaldeelen langs elkaar gemakkelijk verdraaiïngen en verbuigingen van kristalroostervlakken over 10° en meer kunnen optreden. Evenals een rond vlekje bij spiegeling aan een gebogen spiegel tot een streep of anderszins

a) *b*) *c*)

Fig. 3. Stippenfoto's. Bij gelijktijdige doorstraling van een aantal kristallieten ontstaat een superpositie van alle stippenpatronen. Bij willekeurige stand aller kristallieten zijn de stippen over de heele foto verspreid (*a*), bij aanwezigheid van voorkeurstanden zijn de stippen in groepjes opgehoopt (*b*). Terwijl in (*a*) eenige tientallen kristallieten tegelijk doorstraald werden (fijnkristallijn praeparaat), waren het er in (*c*) slechts enkele (grofkristallijn praeparaat).

Hoe kleiner de kristallieten in het praeparaat zijn, hoe méér er gelijktijdig door de röntgenbundel getroffen zullen worden, hoe meer stipjes dus ook op de foto ontstaan. Tevens neemt de intensiteit van elk stipje in het algemeen met de grootte van het spiegelende kristalroostervlak af. Zoo kunnen uit de stippenfoto gegevens omtrent de grootte der kristallieten worden afgeleid, hetgeen geïllustreerd wordt door een vergelijking van fig. 3*a* en *c*, waarin de foto's van een fijn- en een grofkristallijn praeparaat tegenover elkaar zijn gesteld.

Veelal zijn de kristallieten, waaruit een praeparaat bestaat, zelf weer opgebouwd uit kleine gebiedjes, die niet volkomen parallel liggen, maar onder kleine hoeken aan elkaar sluiten (*fig. 4*). In elk kristal is dit al tot op zekere hoogte het geval tengevolge van onregelmatigheden gedurende het groeiproces. In veel sterkere mate treedt het verschijnsel op in

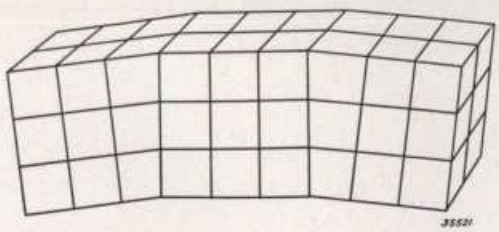


Fig. 4. Onvolmaakt kristal, dat opgebouwd is uit kleine, onder kleine hoeken aan elkaar sluitende, roostergebiedjes. De roostervlakken van het kristal zijn als het ware gebogen.

wordt uitgerekt (een ieder uit de lachspiegels op de kermis welbekend), zoo zal ook de reflectie der röntgenstralen aan de gebogen roostervlakken van een dergelijk onvolmaakt kristal aanleiding geven tot uitgerekte stippen op de foto (zie *fig. 5*), waarvan de lengte en de richting ons iets over de aard der kristal-onvolkomenheid kan leeren.

Fig. 5. Stippenfoto van onvolmaakt kristal.

Cirkeldiagrammen

In het voorgaande is stilzwijgend ondersteld, dat elk roostervlak, onder welke hoek ook getroffen, röntgenstralen kan reflecteeren. Dit is echter niet altijd waar. De „spiegeling" van een röntgenstraal vindt nl. telkens plaats aan een geheele schaar van aan elkaar evenwijdige roostervlakken (*fig. 6*). Zal de gespiegelde straal een waarneembare intensiteit bezitten, dan moeten al

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

deze reflecties elkaar door interferentie versterken, dwz. het wegverschil van stralen, gereflecteerd aan verschillende vlakken der schaar, moet een geheel

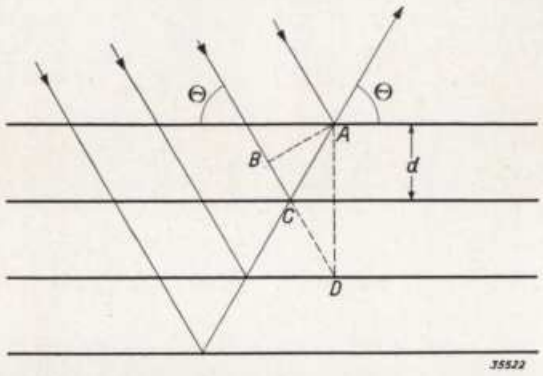


Fig. 6. De buiging der röntgenstralen kan opgevat worden als een spiegeling aan de roostervlakken, waarbij echter telkens alle vlakken van een schaar moeten samenwerken. Opdat de gespiegelde straal niet door interferentie verdwijnt, moet het wegverschil $BC + AC$ een geheel veelvoud (n) der golflengte λ zijn. Aangezien $CD = CA$, is het wegverschil gelijk aan de zijde BD van de rechthoek DBA, waarin $DA = 2d$ en de hoek $BAD = \Theta$. Hieruit volgt de formule (1).

veelvoud (n) der golflengte λ zijn. Hieruit volgt de voorwaarde

$$2\,d \sin \Theta = n \cdot \lambda, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$n = 1, 2, 3, \ldots$$

waarbij d de, het roostervlak kenmerkende, roostervlakkenafstand en Θ de hoek tusschen roostervlak en röntgenstraal is. Is nu de röntgenbundel polychromatisch, dwz. bevat hij stralen van een geheel gebied van golflengten, dan zullen voor elke combinatie d, Θ, dwz. voor elk aanwezig roostervlak, stralen aanwezig zijn, waarvan de golflengte aan verg. (1) voldoet, zoodat elk vlak aanleiding geeft tot een stip op de diffractiefoto; op deze wijze verkrijgen we de hierboven besproken stippenfoto's. Is echter de röntgenbundel monochromatisch, dwz. hebben alle stralen dezelfde golflengte λ, dan kan een spiegeling aan een bepaald soort roostervlak slechts optreden, indien bij de gegeven combinatie d, λ de hoek Θ past, waaronder het roostervlak wordt getroffen. Treft de monochromatische röntgenbundel dus één kristal, dan zullen er veel minder of zelfs in het geheel geen stippen op de foto optreden. Treft de röntgenbundel een groot aantal kristallieten tegelijk, waarin het beschouwde roostervlak telkens onder een andere hoek ten opzichte van de bundel staat, dan zullen al die kristallieten spiegelend werken, waarin deze hoek aan verg. (1) voldoet. Er zullen dus gereflecteerde röntgenstralen slechts onder hoeken 2Θ ten opzichte van de bundel kunnen optreden, waarbij Θ door verg. (1) is gegeven. De gestrooide röntgenstralen liggen derhalve allen op een aantal kegels met de openingshoeken 4Θ, zie *fig.* 7, die de fotografische film in een reeks concentrische cirkels of ringen doorsnijden. Bij voldoend fijnkristallijne praeparaten liggen de stippen op deze cirkels zoo dicht op elkaar, dat de indruk van continue ringen ontstaat.

Aangezien elke cirkel met een bepaalde roostervlakkenafstand correspondeert en, zooals reeds besproken, bij een gegeven kristal een zeer bepaalde groep van roostervlakkenafstanden behoort, is het cirkelsysteem voor het beschouwde kristalrooster karakteristiek en in het algemeen voor elke stof anders. Zoo kan de monochromatische diffractiefoto op eenvoudige wijze ter identificatie van een stof, hetzij element dan wel verbinding, worden gebruikt. Bij aanwezigheid van verschillende kristalsoorten (verschillende fasen) in eenzelfde praeparaat, treden in het diffractiediagram de verschillende hieraan beantwoordende ringsystemen tegelijk op, zoodat zij een analyse van het mengsel mogelijk maken.

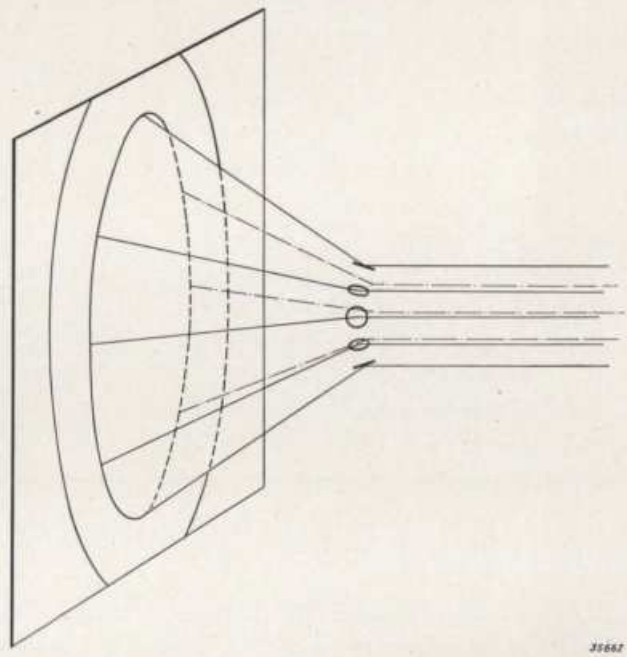


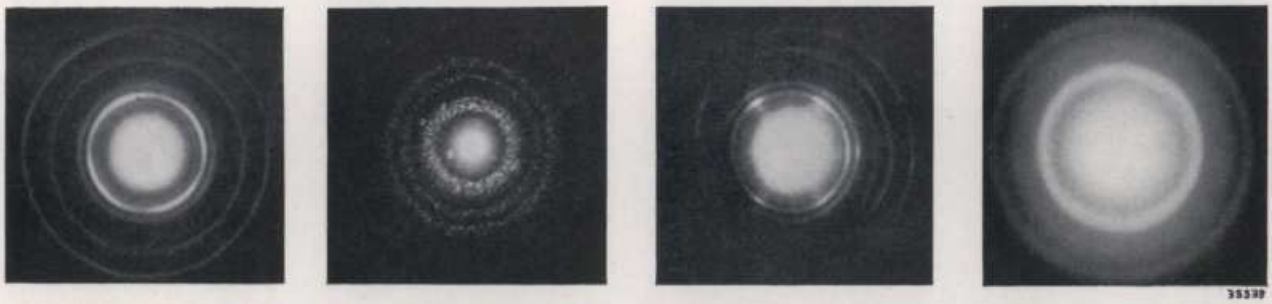
Fig. 7. Ontstaan van cirkeldiagrammen. In een polykristallijn praeparaat, waarop een monochromatische röntgenstraling valt, werken alleen die kristallieten „reflecteerend", waarin de roostervlakken ten opzichte van de bundel onder hoeken Θ volgens verg. (1) staan. De aan een bepaald soort roostervlak gereflecteerde stralen liggen derhalve allen op een kegel met de openingshoek 4Θ.

Daarnaast echter kan het cirkeldiagram andere waardevolle inlichtingen verschaffen. Omdat nl. de diameters der ringen (hoeken Θ) direct met de roostervlakkenafstanden (d) gekoppeld zijn, zal een geringe verandering in die afstanden zich in een overeenkomstige verandering der ringdiameters en dus in een verschuiving der ringen uiten. Derge-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

lijke veranderingen in de roosterafmetingen kunnen bijv. ontstaan door elastische spanningen of door het opnemen van stoffen in vaste oplossing. hoeveelheden stof veel scherpere beelden. Anderzijds is het doordringingsvermogen der electronenstralen om dezelfde reden slechts zeer gering,



a) b) c) d)

Fig. 8. Cirkeldiagrammen: *a*) ringen continu en scherp; *b*) ringen in stippen uiteengevallen: aanwezigheid van grootere kristallieten; *c*) ringen met langs omtrek varieerende intensiteit: aanwezigheid van textuur; *d*) ringen onscherp: kristalonvolkomenheden.

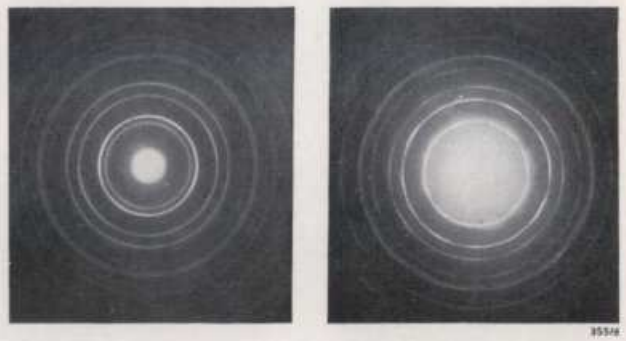
Tenslotte kan ook het cirkeldiagram, evenals de stippenfoto, gegevens verschaffen omtrent de grootte en volkomenheid der kristallieten en betreffende het optreden van voorkeurorientaties. Slechts bij een zeer groot aantal door de bundel getroffen kristallieten zullen de cirkels, zooals vermeld, continu lijken (*fig. 8a*); is dit aantal kleiner, dwz. zijn de kristallieten grooter, dan valt elke ring in een hoeveelheid stippen uiteen (fig. 8*b*), wier aantal en scherpte een oordeel over de kristalgrootte veroorlooft. Bij aanwezigheid van een textuur hoopen de stippen zich weer in bepaalde groepen op, dwz. de intensiteit der diffractieringen varieert langs hun omtrek (fig. 8*c*). Ook door kristalonvolkomenheden kan de intensiteit der diffractielijnen, eventueel ook hun scherpte (fig. 8*d*) beïnvloed worden, al naar gelang de onvolkomenheden zich over veel of weinig atomen uitstrekken.

Een vervaging van het diffractiediagram kan ook door een geheel andere oorzaak optreden, nl. wanneer het aantal bij de verstrooiïng medewerkende atomen zeer klein is. In zulke gevallen biedt het onderzoek met electronenstralen een welkome aanvulling.

Diffractie van electronenstralen

Voor electronenstralen gelden in principe dezelfde beschouwingen, als hierboven voor röntgenstralen zijn gegeven; zij kunnen dus soortgelijke inlichtingen betreffende de toestand en het chemisch karakter van een kristallijne stof verschaffen. Tengevolge van hun veel sterkere wisselwerking met de atomen leveren de electronenstralen echter bij nog veel geringere hoeveelheden stof een duidelijk diffractiebeeld, dan voor de buiging van röntgenstralen vereischt zijn, resp. leveren zij bij gelijke zoodat de hiermede verkregen gegevens alleen betrekking hebben op de toestand van de stof in zeer dunne lagen, van weinige atomen dikte.

In *fig. 9a* is het electronendiffractiebeeld van een uiterst dun (door afetsen verkregen) goudblaadje weergegeven, waarbij de groote scherpte der ringen opvalt. Fig. 9*b* toont het overeenkomstige diagram van een aluminiumblaadje, waarbij uit de intensiteitsvariaties langs de omtrek der ringen geconcludeerd kan worden, dat een textuur aanwezig is.



a) b)

Fig. 9. Electronendiffractiediagrammen: *a*) van een uiterst dun goudblaadje, *b*) van een aluminiumblaadje met duidelijke textuur.

Practische toepassingsmogelijkheden

Aan de hand van een aantal voorbeelden zullen nu de verschillende, uit het bovenstaande volgende, toepassingsmogelijkheden van het diffractie-onderzoek nader worden geïllustreerd. We kunnen deze toepassingen groepeeren in twee hoofdstukken; bij de eerste groep wordt gevraagd naar de aard of samenstelling van een stof, in de tweede naar de kristallijne toestand, waarin zij zich bevindt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Aard en samenstelling van een stof

Identificatie van een verbinding

De in uitvoering eenvoudigste toepassing is de identificatie van een verbinding. Door bijv. het ringdiagram van elke verbinding door opgave der afbuigingshoeken en intensiteiten der drie sterkste lijnen [2]) te karakteriseeren, kan men een soort determineertabel verkrijgen. Dergelijke tabellen zijn o.a. door Hanawalt, Rinn en Frevel[3]) voor een betrekkelijk groot aantal verbindingen (1000) gemaakt. Door allerlei factoren — zooals bijv. verschillen in de kristaltoestand der gebruikte praeparaten — kunnen echter intensiteitsveranderingen en derg. optreden, die het gebruik der tabellen bemoeilijken, zoo al niet onmogelijk maken. In het algemeen is het derhalve beter, het van de onbekende stof verkregen diagram te vergelijken met zelfgemaakte diagrammen van vergelijkingsstoffen. Bij onderzoekingen in een bepaald laboratorium zal zich de keuze der in aanmerking komende vergelijkingsstoffen veelal tot een betrekkelijk klein aantal steeds weer voorkomende stoffen beperken, waarvan men reeds van te voren een diagrammenverzameling kan aanleggen.

Als voorbeeld voor een identificatie langs deze weg zij een geval genoemd, waarbij het een organische verbinding betrof, nl. een door Meuwissen en Noyons [4]) bij hun onderzoekingen over het voorkomen van vitamine-C in urine verkregen osazon. Het röntgenogram hiervan bleek identiek met dat van het osazon van ascorbinezuur (vitamine-C) en geheel verschillend van het röntgenogram van het chemisch tot op zekere hoogte analoog gebouwde osazon van reductinezuur (zie *fig. 10*) — een resultaat, dat hun aanname, dat in normale urine veelal vitamine-C voorkomt, bevestigde.

Juist in de organische chemie, op wier gebied de identificatie door diffractiediagrammen nog slechts weinig wordt toegepast, verdient deze methode naast de identificatie door bepaling van het smeltpunt of andere methoden alle aandacht. Voor het vervaardigen van het diffractiebeeld is slechts een geringe hoeveelheid stof noodig, bijv. een tiental milligram. Het röntgenogram, tezamen met het onderzochte praeparaat bewaard, kan ook later van nut zijn, bijv. om een eventueele verandering of ontleding van het praeparaat te constateeren. Ook kunnen op deze wijze isomeren (voorzoover gekristalliseerd) ondanks hun identieke chemische samenstelling van elkaar onderscheiden worden: de diagrammen bijv. van o-, m- en p-dioxybenzol zijn duidelijk verschillend.

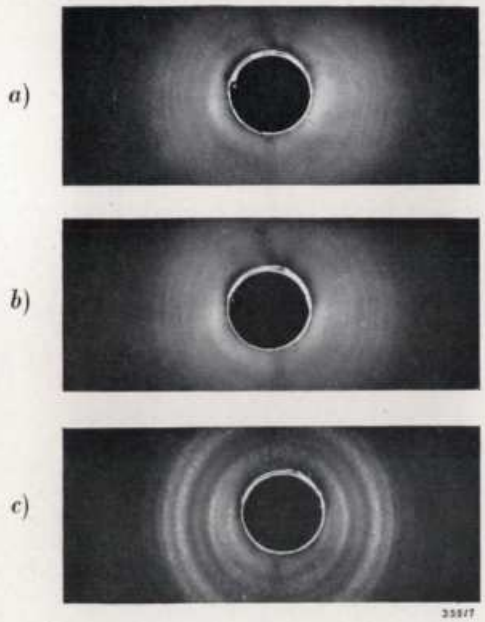


Fig. 10. Vergelijking der diffractiebeelden van het osazon *a*) van het uit urine afgescheiden product, *b*) van ascorbinezuur (vitamine-C) en *c*) van reductinezuur.

Is de ter beschikking staande hoeveelheid van een praeparaat nog kleiner dan de genoemde, voor een röntgenogram vereischte, dan kan — zooals hierboven uiteengezet — misschien het onderzoek met electronenstralen uitkomst brengen. Op deze wijze bleek het bijv. mogelijk, met slechts enkele kristalnaaldjes van het acetaat van een door Boer, Reerink en van Wijk [5]) uit een dierproduct afgescheiden provitamine-D een uitstekend lijnenrijk diagram te verkrijgen. Het ringensysteem was practisch identiek met dat, hetwelk van het acetaat van synthetisch 7-dehydrocholesterol verkregen werd. (Wel bleek bij voortgezet onderzoek ook het in atoomsamenstelling verwante ergosterolacetaat een maar weinig verschillend diagram te geven, zoodat in dit geval het diffractie-onderzoek alléén geen sluitend bewijs voor de, overigens langs andere weg vastgestelde, identiteit van het synthetische en het natuurlijke product kon leveren.)

Analyse van een mengsel

Bestaat de te onderzoeken stof uit een mengsel

[2]) Wanneer het slechts om de diameters der ringen gaat (dus bijv. niet om de intensiteitsverdeeling langs hun omtrek), kan men volstaan met het opnemen van een smalle strook, gaande door het middelpunt van het cirkelsysteem. In plaats van volle cirkels krijgt men dan op de foto een aantal min of meer gebogen lijnen.

[3]) J. D. Hanawalt, H. W. Rinn en L. K. Frevel, Ind. Eng. Chem. **10**, 457, 1938.

[4]) T. Meuwissen en E. Noyons, Acta brevia Neerlandica **8**, 85, 1938.

[5]) A. G. Boer, E. H. Reerink, A. van Wijk en J. van Niekerk, Proc. Roy. Acad. Amsterdam **39**, 622, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

van verschillende stoffen, zoo vertoont het diagram, zooals reeds gezegd, de bij de afzonderlijke deelen van het mengsel behoorende lijnen en kan hieruit dus wederom door vergelijken met bekende diagrammen de samenstelling van het mengsel kwalitatief en tot op zekere hoogte — door beoordeeling der intensiteitsverhoudingen — ook kwantitatief worden afgeleid. De beteekenis van de zoo verkregen analyse is deze, dat zij de samenstellende verbindingen doet kennen, en niet, zooals de zuiver chemische analyse, de atoomsamenstelling. Langs deze weg kon bijv. worden onderzocht, of thoriumoxyde, hetwelk bij het bereiden van wolfraammetaal voor de gloeilampenfabricage aan het oorspronkelijke wolfraamoxyde wordt toegevoegd, na het reductieproces als zoodanig in het wolfraammetaal aanwezig is dan wel eveneens tot metaal gereduceerd wordt — een vraag, die in verband met rekristallisatieverschijnselen in de gloeidraad van groot practisch belang was [6]). Een ander voorbeeld uit de practijk vormen de aan de Landbouwhoogeschool te Wageningen uitgevoerde onderzoekingen over de samenstelling van kleimineralen [7]); juist bij dergelijke ingewikkelde verbindingen (silicaten), waar de chemische analyse slechts weinig uitsluitsel over de eigenlijke opbouw geeft, kan de diffractiemethode bijzonder nuttig zijn.

Onderzoek van vaste oplossingen

De mogelijkheid eener identificatie maakt het röntgenografisch onderzoek ook tot een waardevol hulpmiddel bij het bestudeeren van reacties in vaste toestand, die anders slechts moeilijk te benaderen zijn. Vormen de reactieproducten nieuwe fasen, dan kunnen zij aan hun lijnensysteem herkend worden; worden zij echter in vaste oplossing in de oorspronkelijke fase opgenomen, dan gaat hiermee een uitzetten of inkrimpen van het kristalrooster gepaard, hetgeen zich in een geleidelijke verschuiving der oorspronkelijke lijnen openbaart. Uit de verschuiving kan de verandering der roostervlakkenafstanden berekend worden, en veelal de kwantitatieve samenstelling der vaste oplossing bij benadering worden afgeleid [8]). In de metallurgische laboratoria geschiedt dan ook het vastleggen der fasegrenzen in het stofdiagram meer en meer op deze wijze.

Als voorbeeld voor een reactie, waarbij zoowel een nieuwe fase als ook een vaste oplossing kon optreden, noemen we hier het onderzoek van tantaalcarbidedraden [9]), die voor gebruik als gloeidraden in vacuumlampen in aanmerking zouden kunnen komen. Dergelijke draden, die door gloeien van kooldraden in tantaalhalogenide-damp worden vervaardigd, bleken groote verschillen in electrische weerstand en in verdampingssnelheid (ballonzwarting) te toonen. Een chemische analyse is wegens de onoplosbaarheid van het carbide lastig en heeft bovendien vernietiging van de proefdraden tengevolge. Met röntgendiffractiebeelden daarentegen was gemakkelijk te constateeren, dat de minder geschikte draden naast het carbide TaC ook het carbide Ta_2C bevatten, terwijl soms ook het metaal zelf in vaste oplossing in het carbide aanwezig was. Voor dit laatste geval was de remedie eenvoudig te vinden: door nagloeien der draden in een methaanatmosfeer wordt de overmaat tantaal alsnog in het carbide TaC omgezet.

Ook de absorptie van gassen in metalen laat zich tot op zekere hoogte met behulp van het diffractie-onderzoek bestudeeren. Een fraai voorbeeld deed zich voor bij een onderzoek van de Boer en Fast [10]) over de beweeglijkheid van zuurstof in zirconium onder invloed van een electrisch veld. Dit metaal kan een groote hoeveelheid zuurstof (tot 40 atoomprocent) in vaste oplossing opnemen. Zoowel de kristalroosterafmetingen als de electrische weerstand nemen met het zuurstofgehalte toe. Werd nu door een zuurstofhoudende zirconiumdraad gedurende eenige tijd een gelijkstroom gestuurd, dan bleek de weerstand van het draadstuk in de buurt der positieve pool aanmerkelijk toe te nemen — rechtstreeks zichtbaar door het lichter gloeien van dit stuk — onder gelijktijdige afname der weerstand van het stuk bij de negatieve pool. Dit verschijnsel moet volgens de genoemde onderzoekers daaraan toegeschreven worden, dat de zuurstof zich onder de invloed van het electrische veld vermoedelijk als negatief ion door het zirconiumrooster heen naar de anode beweegt en daar de zuurstofconcentratie vergroot. Inderdaad wezen de diffractiediagrammen der draadgedeelten in de nabijheid der polen op een vergrooting der roosterafmetingen aan de anode en een afname aan de kathode, in overeenstemming met de bovenvermelde interpretatie van het verschijnsel als een „electrolyse in vaste toestand".

Tenslotte zij in dit verband de mogelijkheid vermeld van het onderzoek van diffusieprocessen

[6]) Z. anorg. allg. Chem. **193**, 144, 1930; zie ook Philips techn. T. **1**, 189, 1936.

[7]) C. H. Edelman, F. A. van Baren, J. Ch. L. Favejee en H. J. Hardon, Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool te Wageningen **43** (1939), Verhandeling 4-6.

[8]) Zie bijv. Philips techn. T. **1**, 220, 1936.

[9]) Zie Philips techn. T. **1**, 252, 1936.

[10]) J. H. de Boer en J. D. Fast, Rec. Trav. chim. Pays Bas **59**, 161, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

in vaste stoffen. Wegens de beperkte indringdiepte der bij het diffractie-onderzoek gebruikte röntgenstralen hebben de gegevens, die hun diffractiediagram over de samenstelling verschaft, alleen betrekking op de buitenste laag van het onderzochte praeparaat, van bijv. 10 of 20 micron dikte. Verwijdert men deze oppervlaktelaag door etsen en maakt opnieuw een röntgenogram, dan kan een afwijkende samenstelling der oppervlaktelaag, veroorzaakt door diffusie, aan het licht treden. Met electronenstralen zijn op deze wijze zelfs nog veel dunnere oppervlaktelaagjes (bijv. oxydehuidjes) vast te leggen en te identificeeren.

Kristallijne toestand

Kunnen de tot nu toe besproken toepassingen van het diffractie-onderzoek min of meer als een aanvulling van langs zuiver chemische weg uitgevoerde analyses beschouwd worden, geheel anders staat het met die toepassingen, waarbij naar de kristallijne toestand van een stof wordt gevraagd. Het is wellicht goed om voorop te stellen, dat de kennis van de kristallijne toestand, dwz. van de grootte en volmaaktheid der kristallieten, hun orienteering enz., van groot belang kan zijn, aangezien een groot aantal belangrijke stofeigenschappen, als bijv. electrisch geleidingsvermogen, fotochemisch gedrag, chemische activiteit, cohaesie, reeds door betrekkelijk geringe veranderingen in de kristaltoestand aanmerkelijk beïnvloed kunnen worden. Het vaststellen van een dergelijke correlatie beteekent niet alleen een verdieping van het inzicht, maar kan vaak ook van practische beteekenis zijn, indien de eigenschappen in kwestie op zichzelf moeilijk te meten zijn of zich, bijv. bij een fabricageproces, eerst kunnen openbaren, wanneer de bewerking al te ver voortgeschreden is.

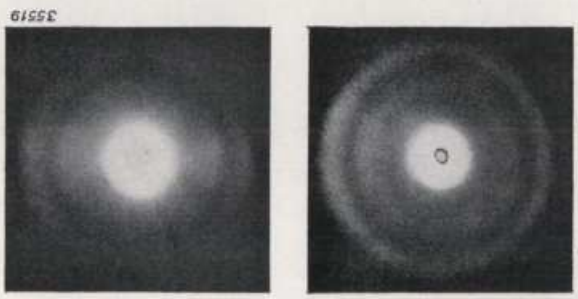
Grootte en volmaaktheid der kristallieten

Van de vele gevallen, waarin gevraagd wordt naar de grootte en volmaaktheid der kristallieten, willen we in de eerste plaats noemen het onderzoek naar de chemische activiteit van verschillende stoffen. Zoo werd door Hofmann en medewerkers [11]) gevonden, dat praeparaten van kool en roet het actiefst waren, wanneer zij uit zeer kleine kristallieten bestonden of uit kristallieten met een sterk gestoord rooster. Dergelijke inzichten kunnen een leidraad vormen voor de weg, die bij de bereiding van deze materialen voor technisch gebruik dient te worden gevolgd.

Ook bij een stof van geheel andere aard, nl. boter, werd wel getracht, uit het röntgendiagram inlichtingen over de toestand van het gekristalliseerde bestanddeel te verkrijgen, in de hoop, verschillen in vastheid tusschen op verschillende wijze bereide botersoorten in verband te kunnen brengen met verschillen in grootte der botervetkristallen, die op grond van andere overwegingen te verwachten waren. Ofschoon onze voorloopige proeven geen duidelijk antwoord op de gestelde vraag gaven [12]), lijkt het principieel niet onmogelijk, dat uitvoerigere onderzoekingen van dezen aard bij bestudeering van vragen op het gebied der voedingsmiddelenchemie wel van nut kunnen zijn.

Orienteering der kristallieten

Door verdamping of verstuiving of langs electrolytische weg neergeslagen metaal- of zoutlagen vertoonen vaak een anisotropie hunner eigenschappen; deze blijkt verband te houden met het feit, dat de kristallieten volgens bepaalde voorkeursrichtingen zijn georienteerd, hetgeen door het diffractie-onderzoek kan worden nagegaan. Met name werd een dergelijke textuur op röntgenografische weg aangetoond bij electrolytisch neergeslagen nikkellaagjes [13]), waarbij eenerzijds sommige eigenschappen, als hechtheid en glans, met de textuur gecorreleerd blijken te zijn, terwijl anderzijds het optreden en de aard der textuur op gecompliceerde wijze blijkt af te hangen van de dikte der laag en de omstandigheden, waaronder de electrolyse uitgevoerd wordt, zooals stroomdichtheid, grootte van het electrolysevat, roeren e.d.



a) *b)*

Fig. 11. In het onderblad van violen van slechte klankkwaliteit vertoonen de cellulosekristallieten een textuur (*a*), die bij violen van goede kwaliteit ontbreekt (*b*). (Uit Lark-Horowitz en Caldwell, Naturwiss. **22**, 450, 1934.)

Als een ander interessant voorbeeld van röntgenografisch textuuronderzoek moge een onderzoek genoemd worden naar de orienteering der cellulosekristallieten in het hout van violen van verschillende

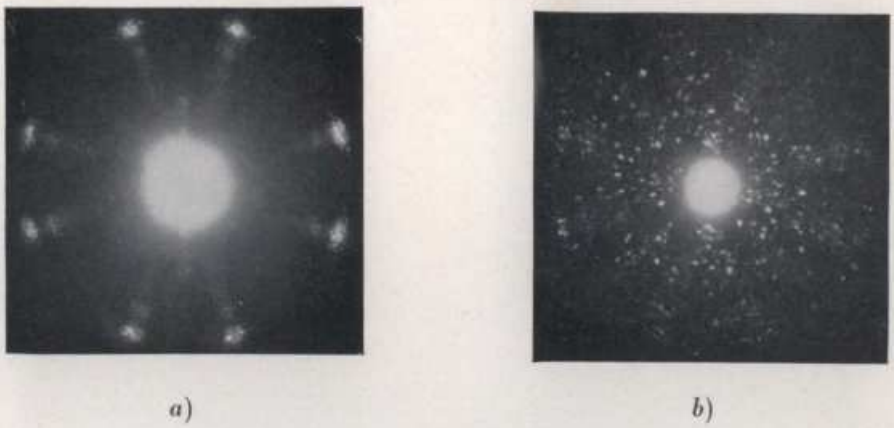
[11]) U. Hofmann en D. Wilm, Z. Elektrochem. **42**, 504, 1936.

[12]) W. van Dam en W. G. Burgers, J. Dairy Sci. **18**, 45, 1935.

[13]) Zie Philips techn. T. **1**, 95, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



a) b)

Fig. 12. Kernen voor Pupinspoelen worden uit een nikkelijzerband met sterk anisotrope magnetische eigenschappen vervaardigd. De gewenschte anisotropie wordt verkregen door walsen en rekristalliseeren, waarbij een uitgesproken textuur optreedt; door röntgenfoto's kan in een tusschenstadium der bewerking worden gecontroleerd, of de noodige textuur is bereikt (*a*), of niet (*b*).

klankkwaliteit [14]). Het bleek hierbij, dat, terwijl bij alle onderzochte instrumenten het bovenblad röntgenografisch een uitgesproken textuur vertoonde, deze in het onderblad alleen bij de minder goede violen optrad, bij de betere instrumenten echter practisch afwezig was (*fig. 11*).

Een orienteering der kristallieten treedt ook geregeld op bij het bewerken van metalen. Zoo nemen de kristallieten in getrokken draden en gewalste platen steeds bepaalde voorkeurstanden in; door een op de bewerking volgend gloeiproces, waarbij zich nieuwe kristallen door rekristallisatie vormen, kunnen deze voorkeurstanden weer geheel gewijzigd worden. De texturen geven aanleiding tot een anisotropie in de eigenschappen van het metaal, die voor de beoogde toepassing van het metaal zoowel gewenscht als ongewenscht kan zijn. Een mooi voorbeeld voor een gewenschte anisotropie, door bewerking verkregen, is het gewalste nikkelijzerband voor kernen van Pupinspoelen, waarvan in *fig. 12* diffractiediagrammen weergegeven en nader toegelicht zijn [15]). Een ongewenschte anisotropie doet zich vaak gevoelen bij het stampen van cylindrische hulzen en doppen uit gewalst blik, waarbij zij aanleiding geeft tot lippenvorming [16]). Het röntgenografisch vaststellen dezer texturen en de bepaling hunner kristallografische aard kan daarbij zeer nuttig zijn om aanwijzingen te vinden voor eventueel gewenschte veranderingen in het bewerkingsprocédé.

Roosterstoringen van metalen

Het uitgesproken vermogen van metaalkristallen om zich plastisch te vervormen brengt met zich mede, dat bij de bewerking en warmtebehandeling behalve de orientatie der kristallieten ook hun inwendige toestand groote veranderingen kan ondergaan, dwz. er treden roosterstoringen in en tusschen de kristallieten op. Deze storingen verschillen van de hierboven reeds besproken kristalonvolkomenheden door het feit, dat zij gepaard gaan met inwendige spanningen in het vervormde metaal, die weer van invloed zijn op vele practisch belangrijke eigenschappen, zooals de electrische weerstand, de mechanische hardheid, de magnetiseerbaarheid, enz. Soortgelijke roosterstoringen en spanningstoestanden treden ook op bij het uitscheiden van een component uit een oververzadigde vaste oplossing.

Het onderzoek der roosterstoringen door middel van de verbreedingen en intensiteitsveranderingen der lijnen of stippen in diffractiediagrammen is wel bij uitstek een toepassingsgebied, waar de diffractiemethode niet alleen in dienst gesteld kan worden van geregeld terugkeerende contrôle-onderzoekingen (bijv. naar de aanwezigheid van inwendige spanningen), maar waar zij bijdragen kan leveren tot het begrip van wetenschappelijk nog niet opgehelderde verschijnselen. Een interessant en technisch belangrijk voorbeeld hiervoor zijn de recente onderzoekingen [17]) over de verschillen tusschen zg. koud- en warmgeharde koperaluminiumlegeeringen. Het metaal aluminium kan bij 500 °C eenige procenten koper in vaste oplossing opnemen, bij

[14]) K. Lark-Horowitz en W. I. Caldwell, Naturwiss. **22**, 450, 1934.

[15]) Voor een uitvoeriger bespreking zie Philips techn. T. **2**, 93, 1937.

[16]) Philips techn. T. **2**, 158, 1937.

[17]) G. D. Preston, Phil. Mag. **26**, 855, 1938; A. Guinier, Thèses, Paris 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

200 °C niet meer dan eenige tienden procent. Door echter een bij hooge temperatuur verzadigde legeering snel op kamertemperatuur af te koelen, wordt de homogene toestand als het ware gefixeerd. De legeering is nu mechanisch zacht. De hardheid blijkt echter langzamerhand weer toe te nemen, tot een maximale waarde, welke na verloop van eenige dagen bereikt wordt (het zg. verouderen, koud harden). Wordt de legeering, nadat zij de maximale hardheid bereikt heeft, op bijv. 200 °C verhit, dan treedt aanvankelijk een afname der hardheid, en na langer gloeien een nieuwe toename der hardheid op (warm harden). Deze verschijnselen kunnen nu in verband worden gebracht met het ontstaan van roosterstoringen, als gevolg der diffusieprocessen, die de uitscheiding der in overmaat aanwezige koperatomen inleiden. Diffractiediagrammen van éénkristallen der legeering, onmiddellijk na de snelle afkoeling van hooge temperatuur opgenomen, vertoonen behalve scherpe stippen ook vage strepen, die bij het daaropvolgende verouderen in duidelijkheid en scherpte toenemen [17]). Een nadere analyse dezer strepen wees erop, dat zij aan het ontstaan van kleine plaatvormige aggregaten van koperatomen, van hoogstens enkele atomen dikte, langs de kubusvlakken van het kristalrooster, toegeschreven moeten worden, en men moet aannemen, dat deze beginnende aggregatie reeds met een toename der hardheid gepaard gaat. Bij het verhitten op 200 °C treedt aanvankelijk, tezamen met het afnemen der hardheid, een verdwijnen der strepen in het diffractiediagram op. De aggregaten lossen dus weer op. De toename der hardheid bij langer gloeien is weer begeleid door het opnieuw verschijnen der strepen, die nu echter veel scherper zijn, hetgeen op de vorming van aanmerkelijk grootere koperaggregaten wijst. Na nog langer voortgezette warmtebehandeling vallen de strepen in scherpe stippen uiteen, waaruit te concludeeren valt, dat de plaatvormige aggregaten tot weer grootere complexen aangroeien.

We hebben met dit voorbeeld willen illustreeren hoe verschillen in technologische eigenschappen van op verschillende wijze behandelde legeeringen teruggebracht kunnen worden tot verschillen in inwendige structuur. Daarbij hebben wij ons wel eenigszins verwijderd uit het geldigheidsgebied der stelling, die we aan het begin van dit betoog plaatsten: dat de diffractiemethode met vrucht kan worden toegepast ook zonder diepere kennis van de kristallografische grondslagen der structuurleer. Toch zal, hopen wij, uit de reeks der hier opgesomde toepassingsmogelijkheden gebleken zijn, dat het gebied, waarin de stelling opgaat, voldoende wijd is om het diffractie-onderzoek een belangrijke plaats onder de technisch toegepaste onderzoekingsmethoden te verzekeren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EEN NIEUWE BALANSVERSTERKERBUIS VOOR DECIMETERGOLVEN

door M. J. O. STRUTT en A. van der ZIEL. 537.543 : 621.385

Voor ontvangst van signalen met golflengten kleiner dan 1 meter bestaat een behoefte aan electronenbuizen met zeer lage ingangs- en uitgangsdemping, groote steilheid en kleine ruischweerstand. De zg. knooppenthode voldoet aan de eerste eisch, schiet echter te kort, wat de laatste twee eischen betreft. Om aan deze te kunnen voldoen, moet men electrodesystemen gebruiken van grootere afmetingen. Deze bezitten echter bij frequenties boven 10^8 per/sec een te groote ingangs- en uitgangsdemping. In dit artikel wordt aangetoond, dat de ingangs- en uitgangsdemping van dergelijke systemen aanzienlijk kan worden verlaagd, door twee systemen op een geschikte wijze in balans te schakelen. Na een uiteenzetting van de bouw en de eigenschappen van de volgens dit principe ontwikkelde balansversterkerbuis EFF 50 wordt op de toepassingsmogelijkheden ingegaan. In het bijzonder wordt besproken, welke resultaten bij toepassing van deze buis in versterkertrappen en in mengtrappen kunnen worden verkregen.

In de laatste jaren zijn in dit laboratorium meetmethoden ontwikkeld, waarmede stroomen, spanningen en impedanties bij zeer hooge frequenties (tot ongeveer $1{,}5 \cdot 10^9$ per/sec, overeenkomende met een golflengte van 20 cm) nauwkeurig bepaald kunnen worden. Deze meetmethoden zijn in de eerste plaats toegepast op electronenbuizen, teneinde het gedrag van deze buizen uitvoerig te onderzoeken [1]). Op grond van de verkregen inzichten zijn door ons nieuwe buizen ontwikkeld, die bij zeer hooge frequenties betere resultaten opleveren dan de tot nu toe gebruikte. Na een uiteenzetting van de limiteeringen bij de toepassing van de thans bestaande electronenbuizen worden bouw en eigenschappen van één dezer nieuwe buistypen, nl. de balansversterkerbuis EFF 50, nader besproken.

De taak van een electronenbuis

De electronenbuis heeft in het algemeen de taak een inkomend signaal te versterken en in de een of andere vorm over te brengen naar de volgende trap. Bij een hoogfrequentie-versterker eischt men bijv., dat het verloop van de overgebrachte spanning binnen een bepaald frequentiegebied een getrouw vergroot beeld is van het verloop van de inkomende spanning. Bij een mengtrap wil men daarentegen, dat de modulatie van de overgebrachte spanning op dezelfde wijze verloopt als de modulatie van de ingangsspanning, terwijl het verloop van de spanning zelf geheel anders is; deze heeft nl. een veel lagere frequentie dan het ingangssignaal.

Naast de kwantitatieve eisch van een behoorlijke vergrooting van de amplituden staat de kwalitatieve eisch, dat het verlangde verband tusschen uitgangsspanning en ingangsspanning zoo goed mogelijk wordt verwezenlijkt. Naar gelang de amplitude van de ingangsspanning zeer groot of zeer klein is, kunnen hierbij twee soorten van afwijkingen optreden. Bij zeer groote amplituden wijkt, tengevolge van de kromming der buiskarakteristieken, het verband tusschen ingangs- en uitgangsspanning resp. tusschen ingangs- en uitgangsmodulatie af van de zuivere evenredigheid, of anders gezegd, er treedt distorsie op. Het verband is dus wel ondubbelzinnig, maar heeft niet de gewenschte gedaante. Bij zeer kleine amplituden is het omgekeerde het geval: de bovengenoemde distorsie treedt nu niet op, doch het verband tusschen ingangs- en uitgangsspanning is niet volkomen scherp meer; bij een vastgehouden ingangsspanning kan de uitgangsspanning nog zekere fluctuaties vertoonen, welke veroorzaakt worden door toevallige verschijnselen in de buis. Zijn deze fluctuaties van dezelfde orde van grootte als de aan de uitgang verkregen signaalspanning, dan kan in het geheel geen sprake meer zijn van een verband tusschen ingangs- en uitgangsspanning. Deze fluctuaties, die men gewoonlijk het ruischen noemt, stellen dus een onderste grens aan de ingangsspanning, waarbij de buis kan worden gebruikt [2]). Daar deze grens van essentieele beteekenis blijkt te zijn voor de bruikbaarheid van een ontvanginstallatie, komen wij dus, wat de taak van een electronenbuis betreft, tot de conclusie: *de buis moet zooveel mogelijk versterken en zoo weinig mogelijk ruischen.*

In het volgende zal worden nagegaan, in hoeverre buizen van normale constructie in staat zijn om deze taak te vervullen.

Preciseering van de eischen, aan electronenbuizen te stellen

De versterking van een electronenbuis kan kwan-

[1]) M. J. O. Strutt: Moderne Kurzwellen-Empfangstechnik, Verlag Springer 1939; Moderne Mehrgitter-Elektronenröhren, 2e druk, Verlag Springer 1940.

[2]) De factoren, welke het ruischen van een ontvangtoestel bepalen, werden in een vroeger artikel (M. Ziegler, Philips techn. T. **3**, 193, 1938) uitvoerig behandeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

titatief worden uitgedrukt door vier grootheden, welke de uitgangsspanning en de uitgangsstroom in verband brengen met de ingangsspanning en de ingangsstroom. Dit geschiedt met behulp van de vergelijkingen:

$$\left.\begin{aligned} i_a &= A\,v_g + B\,v_a \\ i_g &= C\,v_g + D\,v_a \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

welke reeds eerder in dit tijdschrift [3]) werden aangegeven en besproken. A, B, C en D zijn in het algemeen complexe grootheden, welke afhankelijk zijn van de frequentie: men noemt ze de karakteristieke admittanties van een versterkerbuis. De admittantie A is niet anders dan de steilheid van de buis, B is de uitgangsadmittantie, C de ingangsadmittantie en D de terugwerkingsadmittantie. Kent men de admittanties, dan kan men in elke schakeling de versterkingseigenschappen van de buis berekenen. De ruischeigenschappen worden echter hierdoor niet aangegeven en moeten afzonderlijk worden beschouwd.

De meest doelmatige wijze om het ruischen van een electronenbuis te karakteriseeren is het invoeren van het begrip ruischweerstand. De definitie van de ruischweerstand gaat uit van het feit, dat in elke weerstand een „ruischspanning" optreedt, dwz. dat aan zijn uiteinden bepaalde spanningsfluctuaties voorkomen tengevolge van de thermische beweging van de electronen in het inwendige van de weerstand. Deze fluctuaties zijn in effectieve grootte evenredig met de wortel uit de weerstandswaarde en de temperatuur. Onder de ruischweerstand R van een electronenbuis verstaat men nu die weerstand, waarvan de spanningsfluctuaties (bij kamertemperatuur) juist zoo groot zijn als die spanningsfluctuaties, welke men tusschen rooster en kathode van een electronenbuis zou moeten aanbrengen om de anodestroom even sterk te doen fluctueeren als door het ruischen van de buis inderdaad geschiedt.

Keeren we nu terug tot de taak van de electronenbuis, dan zien we uit het bovenstaande direct, dat het wenschelijk is de steilheid A zoo groot mogelijk en de ruischweerstand R zoo klein mogelijk te maken. Om de invloed van de uitgangsadmittantie B en de ingangsadmittantie C te overzien, moeten wij de schakeling, waarin de buis gebruikt wordt, nader beschouwen. Uit verg. (1) volgt echter zonder meer, dat de reëele deelen dezer admittanties aanleiding geven tot energieverliezen aan de uitgangs- en ingangszijde, hetgeen in principe ongewenscht is, zoodat het van belang zal zijn om deze admittanties zoo klein mogelijk te maken.

Speciale gevallen

Wij willen ons hier beperken tot het speciale geval van hoogfrequentie-versterking, waarbij wij nog onderscheid moeten maken tusschen

1) de hoogfrequentie-versterkertrap van een cascadeversterker (twee identieke trappen achter elkaar) en
2) de hoogfrequentie-versterkertrap van een superheterodyne-ontvanger (welke gevolgd wordt door een mengtrap).

Om te beginnen kunnen wij beide gemeenschappelijk behandelen aan de hand van het schema, dat in *fig. 1* is weergegeven. De ingangs- en uitgangsketen worden gevormd door afgestemde trillingskringen met de impedanties Z_1 en Z_2. Parallel aan Z_1 staat de ingangsimpedantie $1/C_1$. Parallel aan Z_2 staat de uitgangsimpedantie $1/B$ en via de transformator T de ingangsimpedantie $1/C_2$ van de volgende trap. Hoewel $1/Z_1$, $1/Z_2$, C_1, B en C_2 in het algemeen complex zijn, willen we ons in het volgende steeds beperken tot de reëele deelen, daar men door juiste afstemming van de kringen altijd kan bereiken, dat de imaginaire gedeelten elkander compenseeren.

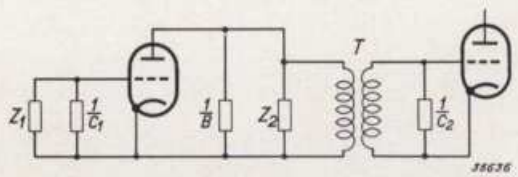


Fig. 1. Schematische voorstelling van een hoogfrequentie-versterkertrap met een daarop via een transformator T aangesloten volgende trap. Z_1 en Z_2 zijn de impedanties van resp. de ingangskring en de uitgangskring van de eerste trap; C_1 en C_2 zijn de ingangsadmittanties van resp. de eerste en de tweede versterkerbuis, B is de uitgangsadmittantie van de eerste versterkerbuis.

Berekent men van de weergegeven schakeling voor een transformatieverhouding n de versterking, dwz. de verhouding tusschen de uitgangsspanning E_u en de ingangsspanning E_i, dan vindt men:

$$\frac{E_u}{E_i} = \frac{A\,n}{n^2 C_2 + \dfrac{1}{Z_2} + B}.$$

Deze uitdrukking heeft als functie van n een maximum voor $n^2 = (B + 1/Z_2)/C_2$, en de maximale versterking bedraagt:

$$\frac{E_u}{E_i} = \frac{A}{2\sqrt{\left(B + \dfrac{1}{Z_2}\right)C_2}} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

[3]) Zie hierover het artikel van M. J. O. Strutt en A. van der Ziel, Philips techn. T. **3**, 104, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Vaak kan er voor gezorgd worden, dat $Z_2 \gg 1/B$. Onder deze voorwaarde wordt:

$$\frac{E_u}{E_i} = \frac{A}{2\sqrt{BC_2}}.$$

Is nu $2\sqrt{BC} > A$, dan wordt de verhouding $E_u/E_i < 1$ en is dus geen versterking meer mogelijk. Wenscht men een bepaalde versterking, bijv. met een factor v, dan vindt men voor de ingangs- en uitgangsadmittanties de voorwaarde

$$\sqrt{BC} < A/2v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

en ziet dus, dat beide admittanties een bepaalde grootte niet mogen overschrijden.

Wat het ruischen betreft, is het moeilijker om tot een numerieke formuleering van de te stellen eischen te komen. Immers, deze hangen geheel af van de sterkte van het ter beschikking staande ingangssignaal. Wij kunnen echter zeggen, dat een vermindering van het ruischen van de electronenbuizen practisch alleen belang heeft, zoolang deze storing niet zwak is ten opzichte van het ruischen, dat van andere bronnen afkomstig is. Nu zien wij in de figuur behalve de electronenbuizen nog andere ruischbronnen, nl. de impedanties Z_1, $1/C_1$, $1/B$, Z_2 en $1/C_2$.

Eerst beschouwen we het ruischen van de eerste versterkerbuis en de eerste trillingskring. In fig. 1 zien we, dat tusschen rooster en kathode van de eerste buis de impedanties Z_1 en $1/C_1$ parallel staan, dus op dezelfde plaats als de denkbeeldige ruischweerstand R. Hieruit volgt, dat het ruischen van deze ruischweerstand R klein moet zijn t.o.v. het ruischen der beide parallel geschakelde impedanties Z_1 en $1/C_1$. Indien aan deze eisch is voldaan, is de bijdrage van de eerste buis tot het ruischen klein t.o.v. de andere genoemde ruischbronnen; deze eisch geeft dus een bovenste grens aan voor de ruischweerstand R. Beschouwen we nu eerst het geval, dat $1/C_1$ groot is t.o.v. Z_1, dan komt onze eisch neer op

$$R \ll Z_1.$$

Wanneer evenwel Z_1 groot is t.o.v. $1/C_1$, dan zou men als voorwaarde verwachten

$$R \ll \frac{1}{C_1}.$$

Uit een nauwkeuriger beschouwing blijkt, dat in deze laatste voorwaarde C_1 moet worden vervangen door C_e, dwz. door dat deel van de ingangsadmittantie, dat afkomstig is van de looptijd der electronen. De berekening, die we hier niet nader zullen weergeven, leert, dat het product RC_e een maat is voor de maximale waarde van de verhouding tusschen signaalspanning en ruischspanning, welke door aanpassing van de eerste trap aan een gegeven antenne kan worden verkregen. Hoe grooter dit product, des te minder bruikbaar is de buis.

Tot nu toe hebben we eischen opgesteld om het ruischen afkomstig van de eerste buis t.o.v. het ruischen van de ingangskring zoo klein mogelijk te doen zijn. Eischen we nu, dat de zoo verkregen ruischeigenschappen door de volgende trappen zoo weinig mogelijk nadeelig worden beïnvloed, dan blijkt het, dat men een onderste grens moet stellen voor de versterking van de eerste trap. Hier moeten we nu onderscheid maken tusschen de boven behandelde gevallen 1) en 2).

Bij het geval 1) (cascadeversterking) zijn ingangsweerstand en ruischweerstand van de tweede buis ongeveer even groot als die van de eerste buis, hetzelfde geldt dus voor de fluctuaties, die in de tweede trap optreden.

Wanneer we de totale fluctuaties van buis + kring van elke trap voorstellen door een ruischweerstand R_t, dan bedraagt de ruischweerstand, welke, op de ingang van de eerste trap aangesloten, het ruischen van beide trappen samen voorstelt:

$$\left(R_t + \frac{R_t}{v^2}\right),$$

waarbij v de versterking is. Heeft de versterking v bijv. de waarde 3, dan wordt de totale ruischweerstand op de ingang van de eerste trap door de aanwezigheid van de tweede trap slechts ongeveer 10% en de aequivalente spanningsfluctuaties slechts 5% grooter, daar deze fluctuaties evenredig zijn met de wortel uit de ruischweerstand. Bij cascadeversterking is dus een versterking 3 met het oog op het ruischen als voldoende te beschouwen.

Bij een mengbuis in de tweede trap is de totale ruischweerstand van deze trap in het algemeen belangrijk grooter dan bij een hoogfrequentieversterkerbuis in de tweede trap, bijv. een factor 10. Stelt men weer de eisch, dat de invloed van de tweede trap op het ruischen aanmerkelijk kleiner is dan die van de eerste trap, dan moet men in dit geval dus belangrijk meer versterken, bijv. 5 à 10 maal in plaats van 3 maal.

Limiteeringen van electronenbuizen bij hooge frequenties

In het voorgaande hebben we eischen opgesteld, waaraan de admittanties van een electronenbuis

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

moeten voldoen, opdat de buis haar taak kan vervullen. Gaat men naar hoogere frequenties, dan is aan deze eischen steeds moeilijker te voldoen.

Zooals immers in het reeds aangehaalde artikel over het gedrag van electronenbuizen uitvoerig werd nagegaan, blijft weliswaar de steilheid A, althans in absolute waarde, tot zeer hooge frequenties toe onveranderd, doch zoowel de ingangsadmittantie als de uitgangsadmittantie (we bedoelen altijd de reëele gedeelten) nemen met toenemende frequentie steeds toe, en wel meestal evenredig met het kwadraat van de frequentie. Het gevolg hiervan is, dat de linker zijde van verg. (3) met toenemende frequentie steeds grooter wordt, zoodat deze vergelijking bij buizen van normale constructie voor frequenties boven ca. 10^8 per/sec niet meer opgaat.

De oorzaak voor het ongewenschte oploopen van de ingangs- en uitgangsadmittantie is, zooals in het aangehaalde artikel uiteengezet werd, gelegen in twee verschijnselen:

1) de eindige looptijd der electronen tusschen de electroden in de buis;
2) de zelfinducties en de wederzijdsche inducties der toevoerdraden van de verschillende electroden.

Wil men bereiken, dat de ingangs- en uitgangsadmittanties bij hooge frequenties klein blijven, dan is het dus noodzakelijk, om deze beide verschijnselen tegen te gaan.

De knooppenthode

Een zeer voor de hand liggende weg om de inductieve effecten en de looptijden te verminderen is het verkleinen van de afmetingen van de buis. Het resultaat van de technische ontwikkeling, die enkele jaren geleden in deze richting heeft plaats gehad, is de zg. knooppenthode, waarvan de admittanties in *fig. 2* als functie van de frequentie zijn weergegeven.

De knooppenthode kan voor versterkerdoeleinden tot ongeveer $2 \cdot 10^8$ per/sec (1,5 m) worden gebruikt. Bij deze frequentie is de ingangsadmittantie $C = 1/4000\ \Omega$, de uitgangsadmittantie $B = 1/10\,000\ \Omega$ en de steilheid $A = 1{,}4$ mA/V. Hieruit berekent men met behulp van verg. (3), dat bij deze frequentie een versterking met een factor

$$v = A/2\sqrt{BC} = 4{,}6$$

mogelijk is. Neemt men in overeenstemming met de ervaring aan, dat de admittanties toenemen met het kwadraat van de frequentie, dan berekent men voor het geval van cascadeversterking ($v = 3$) een bovenste grens van ongeveer $2{,}5 \cdot 10^8$ per/sec (1,2 m).

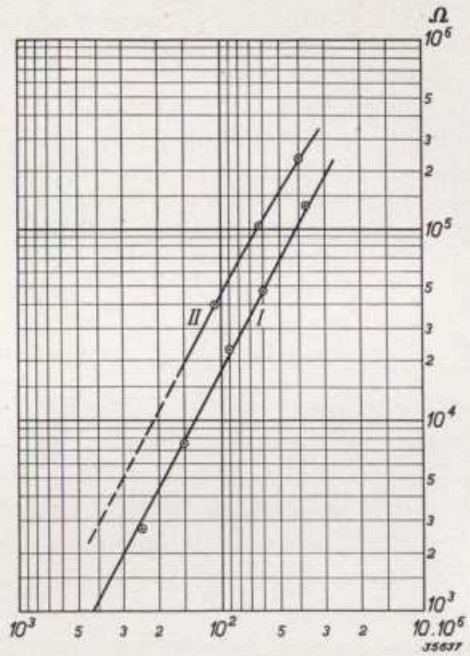


Fig. 2. Ingangsweerstand (kromme I) en uitgangsweerstand (kromme II) van de knooppenthode 4672 als functie van de frequentie in per/sec.

De ruischweerstand van de knooppenthode bedraagt ongeveer 8000 ohm [4]). Het product RC_e is dus bij $2 \cdot 10^8$ per/sec ongeveer 2, hetgeen als dragelijk kan worden beschouwd. Met toenemende frequentie neemt echter dit product spoedig toe, zoodat, wat het ruischen betreft, de toepassing van de knooppenthode ongeveer aan dezelfde grenzen is gebonden als wat de versterking betreft.

Een verdere verkleining van de afmetingen van de buis, welke theoretisch een verbetering met zich mee zou brengen, is technisch thans nog niet mogelijk. Bovendien is het zeer de vraag, of het verwachte succes inderdaad zou optreden. Hiertoe is namelijk noodzakelijk, dat de verkleining van de buis niet leidt tot een achteruitgang van de steilheid. Theoretisch zou men aan deze eisch kunnen voldoen, daar de steilheid geheel bepaald is door de onderlinge verhoudingen van de afmetingen. In werkelijkheid bestaan er echter tal van invloeden, welke de steilheid van een buis met afnemende afmetingen nadeelig beïnvloeden, zoodat de verhouding $A/\sqrt{BC}$ bij een verdere vermindering van de afmetingen weinig of misschien zelfs in het

[4]) Hierbij is op te merken, dat het ruischen van de buis in werkelijkheid iets sterker is dan door de bovengenoemde ruischweerstand wordt aangegeven. Bij de hier beschouwde hooge frequenties is de sterkte van het ruischen van de buis nl. een functie van de impedantie tusschen rooster en kathode. De bovengenoemde waarde van 8000 Ω geldt voor een zeer kleine waarde van deze impedantie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

geheel niet zal oploopen. Bij de tegenwoordige stand van de techniek moet de knooppenthode, wat de afmetingen van de buis betreft, als het meest gunstige compromis worden beschouwd, zoodat het langs deze weg niet mogelijk zal zijn een buis te ontwikkelen, welke geschikt is voor het versterken van hoogere frequenties dan $2 \cdot 10^8$ per/sec.

Wij zullen nu, uitgaande van de hierboven besproken beginselen, een nieuwe weg aanwijzen, welke ons verder zal voeren dan de tot nu toe beschreden weg van een verkleining van alle afmetingen.

Een nieuw type hoogfrequentie-versterkerbuis

Zooals we gezien hebben, is het gewenscht, om voor frequenties boven $2 \cdot 10^8$ per/sec (1,5 m) over een buis te beschikken met een hoogere steilheid en een lagere ruischweerstand dan de knooppenthode. Buizen met groote steilheid kunnen door toepassen van verschillende middelen worden verkregen. Een daarvan is het vergrooten van het kathodeoppervlak bij constant gehouden onderlinge electrode-afstanden in de buis. Dit middel werkt analoog aan het parallel schakelen van een aantal electrodesystemen. Het leidt dus tevens tot verkleining van ingangs- en uitgangsweerstand, zoodat dit geen voordeel oplevert. Sluit men dit middel uit, dan blijft als tweede mogelijkheid de bij de knooppenthode gevolgde weg nl. het verkleinen van de afstand tusschen stuurrooster en kathode, tevens onder toepassing van een dunnere roosterdraad en een kleinere spoed. Hierbij behoeft de ingangs- en uitgangsweerstand niet kleiner te worden. Wij hebben dan ook, uitgaande van electronenbuizen van normale constructie, dit laatste middel toegepast. De afstand tusschen rooster en kathode werd verlaagd tot 90 μ, en de hierdoor verkregen steilheid bedraagt in de normale instelling van de buis 11 mA/V bij een anodestroom van 10 mA.

Een verhooging van de steilheid van een buis heeft automatisch tot gevolg een verlaging van de ruischweerstand. Immers hoe grooter de steilheid is, des te kleiner is de amplitude van de roosterwisselspanning, die noodig is om een gegeven fluctuatie van de stroom te veroorzaken. Bij de constructie van de nieuwe hoogfrequentie-versterkerbuis werd echter getracht het ruischen nog sterker tegen te gaan, door de ruischwisselstroom zelf te verkleinen. Dit kon geschieden door de schermroosterstroom laag te houden.

De fluctuaties van de anodestroom in een penthode vinden hun oorzaak gedeeltelijk in het feit, dat de door de kathode geëmitteerde electronenstroom zelf fluctueert en voor een ander belangrijk gedeelte in de fluctuaties van de stroomverdeeling tusschen schermrooster en anode [5]). Men kan deze laatste schommelingen klein houden door te zorgen, dat de schermroosterstroom zelf slechts een klein percentage van de totale kathodestroom bedraagt. In dit opzicht werd bij de onderhavige constructie een verbetering bereikt door de schermroosterdraden dunner te nemen en de spoed van het schermrooster grooter te maken dan bij normale hoogfrequentverstêrkerbuizen gebruikelijk is. Weliswaar heeft dit tot gevolg, dat het schermrooster zijn afschermende taak minder effectief vervult, maar juist de versterking bij zeer hooge frequenties blijkt hiervan geen ernstig nadeel te ondervinden.

Het schermrooster heeft de taak de anode af te schermen van het stuurrooster, opdat een verandering van de anodespanning geen invloed heeft op de anodestroom (hooge uitgangsweerstand) en op de stuurroosterspanning (kleine terugwerking).

Bij een buis van normale constructie is bij lage frequentie de uitgangsweerstand van de orde van 10^6 Ω. Van een dusdanig hooge uitgangsweerstand zou men in het geval van de versterking van zeer hooge frequenties geen profijt kunnen trekken, aangezien de weerstand van de parallel geschakelde afstemkringen slechts eenige duizend Ω bedraagt. Wat de statische uitgangsweerstand betreft, bestaat dus geen bezwaar om de afscherming tusschen stuurrooster en anode minder effectief te maken, dan gebruikelijk is bij buizen, die voor lagere frequenties zijn bestemd.

Tot hetzelfde resultaat komt men ook, wat de terugwerking betreft. De terugwerking kan beschreven worden door een capaciteit C_{ag} tusschen stuurrooster en anode en wordt door het schermrooster zoo klein mogelijk gehouden. Bij hooge frequenties blijkt echter de terugwerking voor een belangrijk deel niet door de capaciteit tusschen stuurrooster en anode te worden veroorzaakt, maar door de onderlinge capaciteiten, zelfinducties en wederzijdsche inducties der verschillende toevoerdraden van de electroden. De werking van deze bijkomende oorzaak heeft in vele gevallen een grootere absolute waarde en het omgekeerde teeken van de werking, welke uitgaat van de capaciteit C_{ag}. In deze gevallen is een vergrooting van C_{ag} zonder meer toegestaan en leidt zelfs tot vermindering van de totale terugwerking.

Door het verlagen van de schermroosterstroom samen met het opvoeren van de steilheid werd de ruischweerstand teruggebracht tot 600 Ω, dus tot ca. 1/13 van de waarde van de ruischweerstand van de knooppenthode. Voor de kleinste te versterken ingangsspanning, welke evenredig is met de wortel uit de ruischweerstand, beteekent dit een winst van een factor 3,5.

Wat de versterking betreft, is de vooruitgang ten opzichte van de knooppenthode nog belangrijker. De

---

[5]) Zie hierover het artikel van M. Ziegler, Philips techn. T. **2**, 329, 1937. In dat artikel werden de verschijnselen, welke aanleiding geven tot het ruischen van ontvangbuizen, uitvoerig behandeld. Uit de gegeven beschouwingen kan men voor de ruischweerstand van een penthode de formule afleiden:

$$R = \frac{4000}{S_a}\left[1 + 5\,\frac{I_{g_2}}{S_a}\left(\frac{I_a}{I_{g_2} + I_a}\right)\right]\ \Omega,$$

waarin de steilheid S_a in mA/V en de anodestroom I_a en de schermroosterstroom I_{g_2} in mA moeten worden ingevuld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

steilheid is toegenomen van 1,4 tot 11, dus met een factor 8, en bij constant gehouden in- en uitgangsimpedantie geldt hetzelfde voor de versterking.

Het gedrag bij hooge frequenties is echter bij de hierboven beschreven constructie nog niet als bevredigend te beschouwen. Weliswaar zal de invloed van looptijden bij deze buis, dank zij de kleine afstand tusschen stuurrooster en anode, slechts relatief gering zijn, maar de inductieve en capacitieve effecten van de toevoerdraden zijn niet kleiner dan bij normale electronenbuizen en kunnen de bekende dempende werking op de ingangs- en uitgangsketen hebben.

Uit metingen en berekeningen is gebleken, dat deze dempingen bij buizen van groote steilheid hoofdzakelijk afkomstig zijn van inductieve werkingen van de kathodeleiding (binnen èn buiten de buis) en evenredig zijn met de steilheid. Waar we hier met een buis van zeer groote steilheid te maken hebben is het dus zaak om de invloed van de inductieve werkingen van de kathodeleidingen tegen te gaan.

De balansversterkerbuis EFF 50

Het elimineeren van de inductieve werkingen van de kathodetoevoerleidingen blijkt mogelijk te zijn door een bijzondere toepassing van het balansbeginsel. Twee identieke electrodesystemen, welke samen in een ballon zijn gesmolten, worden op de in *fig. 3a* weergegeven wijze voorzien van een gemeenschappelijke kathodeleiding. De vóórspanningen van overeenkomstige electroden van beide systemen worden gelijk gekozen, terwijl de wisselspanning van het stuurrooster aan de beide helften van het systeem in tegenfase wordt toegevoerd. De anodewisselstroomen van de beide systeemhelften zullen elkaar dan in het gedeelte B^k van de kathodeleiding precies opheffen, zoodat inductieve werkingen slechts kunnen optreden in het gedeelte $k'\,k\,k''$ van de kathodeleiding, dat zeer kort kan worden gehouden.

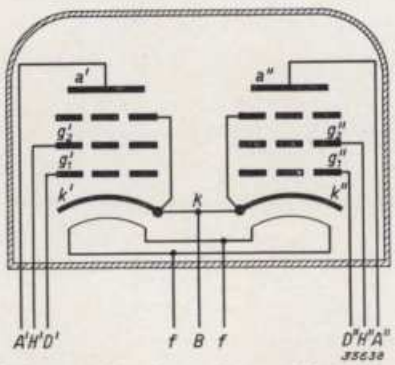
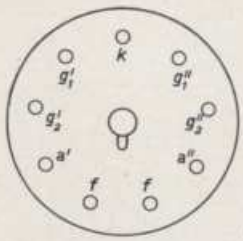


Fig. 3. a) Schematische electrode-opstelling van de balansversterkerbuis EFF 50. Twee gelijke penthodesystemen met gemeenschappelijke kathodeleiding Bk en indirecte verhitting (ff) zijn opgesteld in een geheel glazen ballon.



b) Rangschikking der electrodepennen in de bodem van de balansversterkerbuis EFF 50.

De ingangsspanning komt te staan over de klemmen $D'\,D''$; als ingangsweerstand is dus de weerstand tusschen deze klemmen te beschouwen. Klaarblijkelijk is de ingangsweerstand 2 maal zoo groot als die van een enkel systeem. Bovendien is door het toepassen van het balans-beginsel, waardoor de toevoerdraad B^k buiten werking is gesteld, de ingangsweerstand van elk systeem afzonderlijk ongeveer met een factor 2,5 vergroot, zoodat over het geheel een verhooging van de ingangsweerstand met een factor 5 is verkregen. Het resteerende gedeelte van de ingangsdemping moet hoofdzakelijk aan de looptijd der electronen tusschen kathode en stuurrooster worden toegeschreven. De uitgangsweerstand tusschen A' en A'', die in mindere mate door de looptijden der electronen wordt beïnvloed, bedraagt zelfs meer dan het vijfvoudige van die van een enkele buis, bijv. het tienvoudige.

Een verder voordeel van dit balansprincipe is, dat de ingangs- en uitgangscapaciteiten van de geheele buis slechts de helft bedragen van de capaciteiten van elk systeem afzonderlijk, waardoor deze capaciteiten niet belangrijk grooter zijn dan bij de knooppenthode.

Uitvoering van de balansbuis

Voor de uitvoering van de balansbuis is een vorm gekozen, welke voor moderne ontvangbuizen van normale omroepgolven eveneens wordt toegepast, nl. de zg. geheel glazen constructie, die reeds eerder in dit tijdschrift is beschreven [6]). In *fig. 4* is deze uitvoering te zien, tegelijk met enkele ontwikkelingsmodellen van andere constructie.

De toevoerdraden van de electroden zijn bij de geheel glazen constructie alle door een vlakke bodemplaat naar beneden uitgevoerd. Zooals men in fig. 3*a* ziet, heeft de balansbuis negen aansluitingen, de rangschikking der negen pennen in de bodem is in fig. 3*b* weergegeven.

De aansluitpennen, welke in de glasbodem zijn vastgesmolten, worden om glastechnische redenen vaak uit chroomijzer

[6]) Zie het artikel: Radiobuizen van nieuwe constructie, Philips techn. T. **4**, 170, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

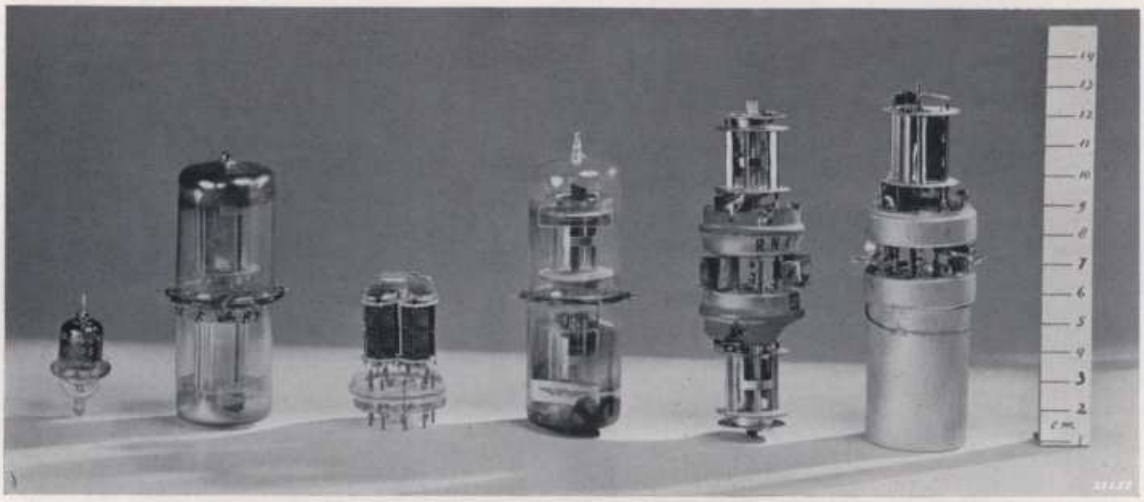


Fig. 4. Knooppenthode 4672 (links) alsmede een aantal ontwikkelingsmodellen van de balansversterkerbuis EFF 50. Bij de vier eerste ontwikkelingsmodellen (tweede, vierde, vijfde en zesde van links) zijn de systemen in elkaars verlengde opgesteld; bij de uiteindelijke uitvoering (derde van links) staan de systemen naast elkaar. Behalve door een glazen buis zijn beide systemen nog omgeven door een gemeenschappelijke kooi uit gaas, die weggenomen werd om het binnenwerk beter te laten zien. Rechts cm-schaal.

gemaakt. Tengevolge van de aanzienlijke magnetische permeabiliteit van dit materiaal treedt bij frequenties van de orde van 10^8 per/sec en daarboven een belangrijk skineffect op, waardoor de weerstand bij deze frequenties enkele honderd maal de weerstand voor gelijkstroom wordt. Een vermindering van de weerstand kan worden verkregen door het oppervlak van de pennen met een onmagnetisch materiaal te bedekken, bijv. koper of zilver.

Het laag houden van de weerstand van de pennen is van belang, omdat deze weerstand een bijdrage levert tot de ingangs- en uitgangsdemping. Beschouwen we bijv. de ingangszijde, dan is de admittantie tusschen de aansluitpennen gegeven door het in *fig. 5* geschetste vervangingsschema, waarin r_s de weerstanden en L_s de zelfinducties van de roostertoevoerdraden voorstellen, terwijl C_{kg} de in elk systeem aanwezige capaciteit tusschen stuurrooster en kathode beteekent. Het reëele gedeelte van de admittantie van deze keten bedraagt:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{r_s\,\omega^2 C_{kg}^2}{2\,(1-\omega^2 L_s C_{kg})^2}$$

en geeft dus aanleiding tot een demping, welke evenredig is met r_s en met het kwadraat van de frequentie (r_s neemt eveneens met de frequentie toe en is ongeveer evenredig met $\sqrt{\omega}$).

Metingen, verricht aan buizen met pennen van kopermanteldraad, wezen uit, dat R_p bij een frequentie van $3{\cdot}10^8$ per/sec nog grooter was dan 10 000 Ω.

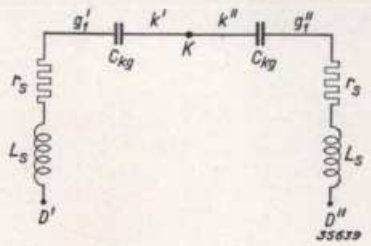


Fig. 5. Vervangingsschema voor de admittantie tusschen de aansluitklemmen van de twee stuurroosters.

Toepassing van de balansversterkerbuis voor hoogfrequentie-versterking

Bij de toepassing van de balansbuis voor het versterken van hoogfrequente signalen kan men verschillende gevallen onderscheiden, zooals het versterken van een draaggolf met een zeer breede modulatieband (televisie) en het versterken van een draaggolf, die met geluid is gemoduleerd. Hoewel de nieuwe balansbuis ook voor de eerstgenoemde toepassing bepaalde voordeelen biedt, willen we ons beperken tot de laatstgenoemde toepassing, welke op het oogenblik in het golfgebied beneden 2 m de meest belangrijke is.

In *fig. 6* is het principeschema van de versterker weergegeven. Het ingangssignaal wordt geïnduceerd in de spoel *Sp* van een afgestemde trillingskring, waarvan de uiteinden op de roosteraansluitpennen D' en D'' van de balansbuis zijn aangesloten [7]). De condensator C_1 laten wij op het oogenblik buiten beschouwing, evenals eenige andere onderdeelen, waarvan de functie verderop zal worden besproken.

De gelijkspanningen voor de schermroosters resp. anoden worden van een positieve spanningsbron afgenomen via de weerstanden R_s resp. R_a. De anodewisselstroom gaat via de anodepennen A' en A''

[7]) De ingangskring *Sp C C* kan worden opgevat als symbool voor een of andere antenneschakeling, bijv. voor een dipool, gecombineerd met een transmissielijn van geschikte lengte. In elk geval is het aan te bevelen een schakeling toe te passen, welke symmetrisch is ten opzichte van aarde. Hierdoor kan men met behulp van een dipool een tweemaal zoo groote ingangsspanning verkrijgen als bij de gebruikelijke ingangsschakeling, die aan een kant geaard is, en waarbij derhalve vaak slechts een halve dipool kan worden toegepast.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

naar de afgestemde uitgangsketen, waardoor hierop de uitgangsspanning E_u ontstaat.

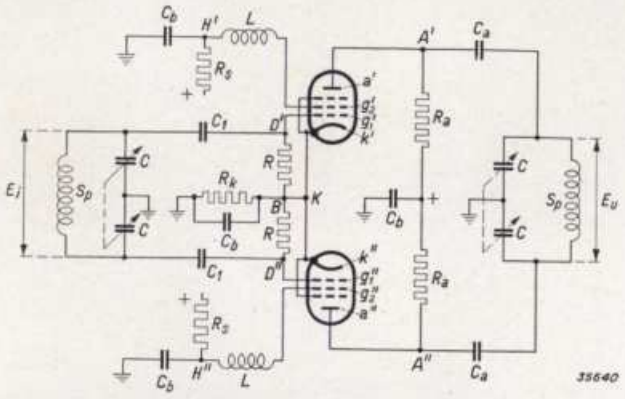


Fig. 6. Schakeling van een hoogfrequentie-versterker met balansbuis. De ingangsspanning wordt in tegenfase op beide stuurroosters gezet; de uitgangsspanning wordt in tegenfase van beide anoden afgenomen. De zelfinducties L dienen om de ingangsdemping te verminderen, terwijl door geschikte keuze van de condensatoren C_1 en C_a de versterking E_u/E_i kan worden beïnvloed. Sp zelfinductie, met C, C afgestemd op de frequentie van de te versterken wisselspanning; R_k kathodeweerstand, overbrugd door een blokcondensator C_b, ter verkrijging van een negatieve stuurroosterspanning; R roosterlekweerstanden; R_s voedingsweerstanden voor de schermroosters; R_a voedingsweerstanden voor de anoden.

Is S de steilheid van de buis, dan vindt men voor de versterking van de trap de formule:

$$\frac{E_u}{E_i} = {}^1/_2 \, SZ_u \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

waarbij Z_u de impedantie tusschen de anoden is. De waarde van Z_u hangt af van de uitgangsimpedantie van de balansversterkerbuis, van de impedantie van de trillingsketen $Sp\ C\ C$ en van de ingangsimpedantie van de volgende trap in de schakeling. We moeten hier weer onderscheid maken tusschen cascadeversterking en superheterodyneversterking.

Gaan wij bij het geval van cascadeversterking tot frequenties boven $3 \cdot 10^8$ per/sec, dan wordt de ingangsimpedantie van de volgende trap zelfs bij een buis van het type EFF 50 zoo laag, dat dit een ernstige belemmering beteekent voor het verkrijgen van een redelijke versterking. Het blijkt echter, dat men deze demping voor een groot gedeelte kan opheffen door in de schermroosterleiding een zelfinductie te schakelen. De hierdoor opgewekte wisselspanning van het schermrooster levert via de capaciteit tusschen schermrooster en stuurrooster in de stuurroosterketen een stroom, welke in fase tegengesteld is aan de stuurroosterspanning, zoodat het reëele gedeelte van de ingangsadmittantie verkleind wordt [8]).

Wanneer de tweede trap een mengtrap is, moet men eveneens zorg dragen, dat zijn ingangsimpedantie voldoende groot is. Men kan bijv. als mengtrap twee dioden in balansschakeling gebruiken, of een EFF 50 in een straks te bespreken schakeling. In beide gevallen kan men bij een frequentie van $3 \cdot 10^8$ per/sec voor Z_u een waarde van ongeveer 3000 Ω verkrijgen. Daar de steilheid bij deze frequentie practisch nog overeen komt met haar statische waarde van 11 mA/V, zou dus de versterking $v = {}^1/_2 \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 16{,}5$ bedragen.

Bij de experimenteele toetsing van dit resultaat deed zich een complicatie voor, welke wij nader willen behandelen, omdat ze een gezichtspunt bevat, dat ook voor de practische toepassing van de buis van belang kan zijn. Wanneer we fig. 6 beschouwen, zien we, dat zoowel de ingangsspanning als de uitgangsspanning aan de uiteinden van een spoel worden gemeten. Bij de bovenstaande berekening hebben we ondersteld, dat deze spanningen overeenkomen met de spanningen tusschen de stuurroosters $g_1' g_1''$ resp. tusschen de anoden $a' a''$. Voor frequenties als de hier beschouwde is dit evenwel niet het geval, daar de toevoerdraden van de spoel naar de roosters (resp. anoden) een aanzienlijke zelfinductie bezitten. Hierop werd reeds gewezen bij het bespreken van de invloed, welke de weerstand van de rooster-aansluitpennen heeft op de ingangsdemping, en wij kunnen het daar afgeleide vervangingsschema, fig. 5, gebruiken om de verhouding tusschen de spanning E_i over de spoel en de werkelijke ingangsspanning E_i' tusschen de stuurroosters te berekenen. Laat men hierbij de serieweerstand r_s buiten beschouwing, dan vindt men voor voldoend groote waarden van C_1:

$$\frac{E_i}{E_i'} = 1 - \omega^2 \, L_s \, C_{kg},$$

en een analoge betrekking geldt voor de uitgangszijde. Men ziet, dat de spanning aan de uiteinden van de spoel in het algemeen kleiner is dan de spanning tusschen de electroden.

Wat de meting van de versterking betreft, hierbij werden de condensatoren C_1 en C_a zoodanig gekozen, dat zoowel in de ingangs- als in de uit-

[8]) In principe is de toepassing van deze methode niet beperkt tot de balansversterkerbuis, maar geeft voor elke versterkerbuis een mogelijkheid om de ingangsdemping op te heffen. Practisch ontmoet deze methode evenwel voor de meeste buizen het bezwaar, dat de voor een behoorlijke verlaging van de ingangsdemping benoodigde zelfinductie tientallen malen grooter is dan bij de balansbuis EFF 50. Zelfinducties van deze orde van grootte vertoonen bij de frequenties van decimetergolven resonantieverschijnselen, die tot ongewenschte effecten aanleiding geven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

gangsketen bij de frequentie, waarvoor de versterking werd onderzocht, serieresonantie optrad tusschen deze capaciteiten en de zelfinducties van de toevoerdraden (ongeveer $4 \cdot 10^{-8}$ henry), zoodat de totale impedantie van de verbinding tusschen de spoel en de electroden nul is. In dat geval komen E_i en E_u resp. overeen met de werkelijke ingangs- en uitgangsspanning, zoodat verg. (4) kan worden getoetst. De metingen werden uitgevoerd met behulp van speciaal hiertoe ontwikkelde installaties (zie *fig. 7, 8* en *9* met bijbehoorende onderschriften) en leverden bij frequenties van $3 \cdot 10^8$ per/sec de theoretisch verwachte uitkomsten. Hieruit kan men concludeeren, dat binnen de experimenteele fouten, welke op ongeveer 5% gesteld

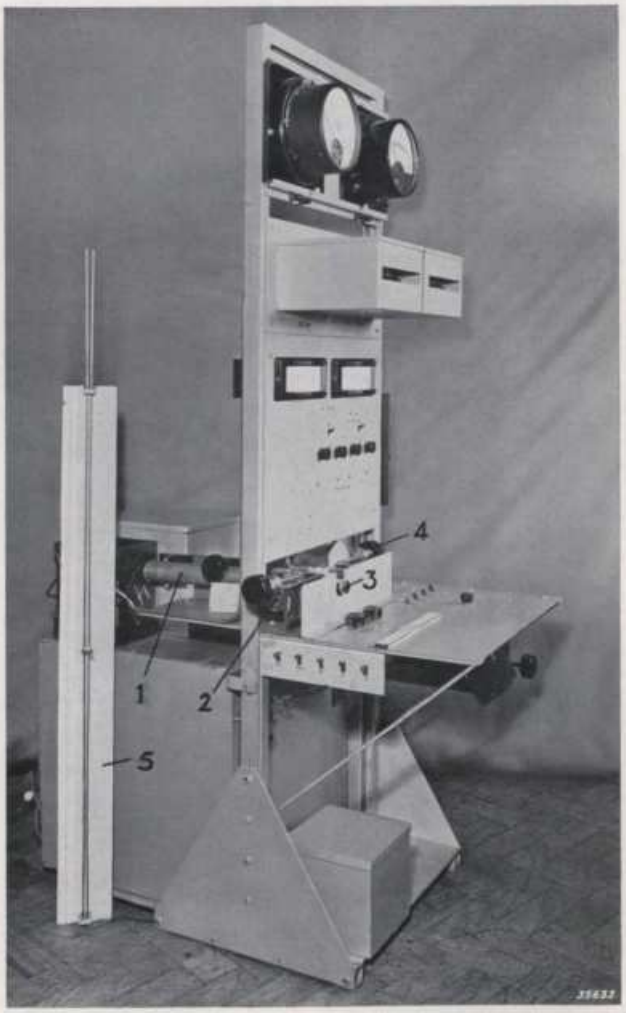


Fig. 7. Installatie voor het meten van ingangs- en uitgangsadmittantie alsmede versterking van balansbuizen bij frequenties tot $6 \cdot 10^8$ per/sec (50 cm). De bovenste meters wijzen de stuurroosterspanningen en de anode- en schermroosterstroomen aan. Daaronder twee microamperemeters, behoorende bij de diode-voltmeters voor de ingangswisselspanningen der beide stuurroosters t.o.v. de kathode; daaronder twee soortgelijke microamperemeters voor de uitgangszijde. *1* oscillator, *2* afstembare ingangskring, bestaande uit twee Lecher-geleiders met geaard omhulsel; *3* te meten buis, *4* afstembare uitgangskring, *5* golfmeter.

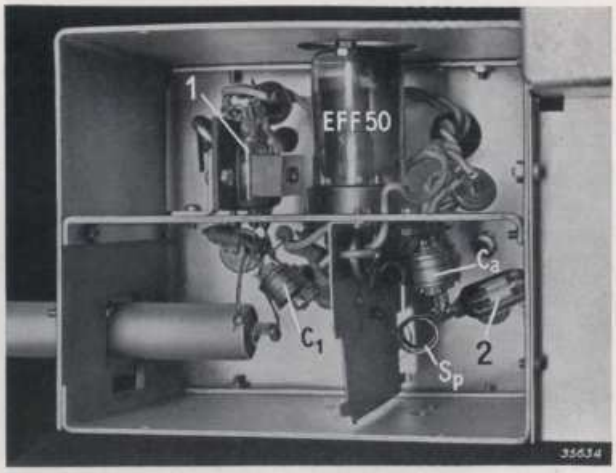


Fig. 8. Eenvoudige inrichting voor het meten van de versterking van balansbuizen in een schakeling volgens fig. 6 bij een frequentie van $3 \cdot 10^8$ per/sec. *1* dioden voor het meten van de ingangswisselspanning. *2* dioden voor het meten van de uitgangswisselspanning. De overige letters van de figuur komen met die van fig. 6 overeen.

kunnen worden, de steilheid van de buis tot frequenties van $3 \cdot 10^8$ per/sec nog niet verandert. Zooals gezegd, wordt bij gebruik van een uitgangsketen met een impedantie van 3000 Ω bij een frequentie van $3 \cdot 10^8$ per/sec een versterking met een factor 16,5 verkregen. Bij een frequentie van $5 \cdot 10^8$ per/sec (60 cm golflengte) zou de versterking onder bepaalde omstandigheden nog een factor 8 kunnen bedragen. Deze getallen, welke geenszins een bovenste grens voorstellen, daar men ook hoogere impedanties dan 3000 Ω kan verwezenlijken, zijn aanmerkelijk grooter dan hetgeen met behulp van een knooppenthode kan worden bereikt.

Ook wat het ruischen betreft, is de balansversterkerbuis aanmerkelijk gunstiger dan de knooppenthode. Bij een frequentie van $3 \cdot 10^8$ per/sec is voor de balansversterkerbuis het electronenaandeel van de ingangsadmittantie $C_e = 1/600\ \Omega^{-1}$, terwijl de ruischweerstand $R = 1200\ \Omega$ bedraagt, beide getallen gerekend tusschen g_1' en g_1'' (zie fig. 3*a* en 6). De knooppenthode heeft daarentegen bij dezelfde frequentie een ingangsadmittantie van $1/2000\ \Omega^{-1}$, bijna uitsluitend afkomstig van de looptijd der electronen, en een ruischweerstand van 8000 Ω. Het product RC_e dat, zooals reeds besproken werd, de ruischeigenschappen van een buis bepaalt [9]), is

[9]) Zooals wij gezien hebben, kan de ingangsweerstand door het invoeren van een zelfinductie in de schermroosterleiding zeer groot worden gemaakt, en men zou op het eerste gezicht kunnen vermoeden, dat hierdoor een gunstige invloed op de verhouding tusschen het signaal en het ruischen zou kunnen worden uitgeoefend. Dit blijkt echter niet het geval te zijn. Een nader onderzoek leert, dat de verhouding tusschen signaalspanning en ruischspanning door toepassen van deze maatregel niet gunstiger wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

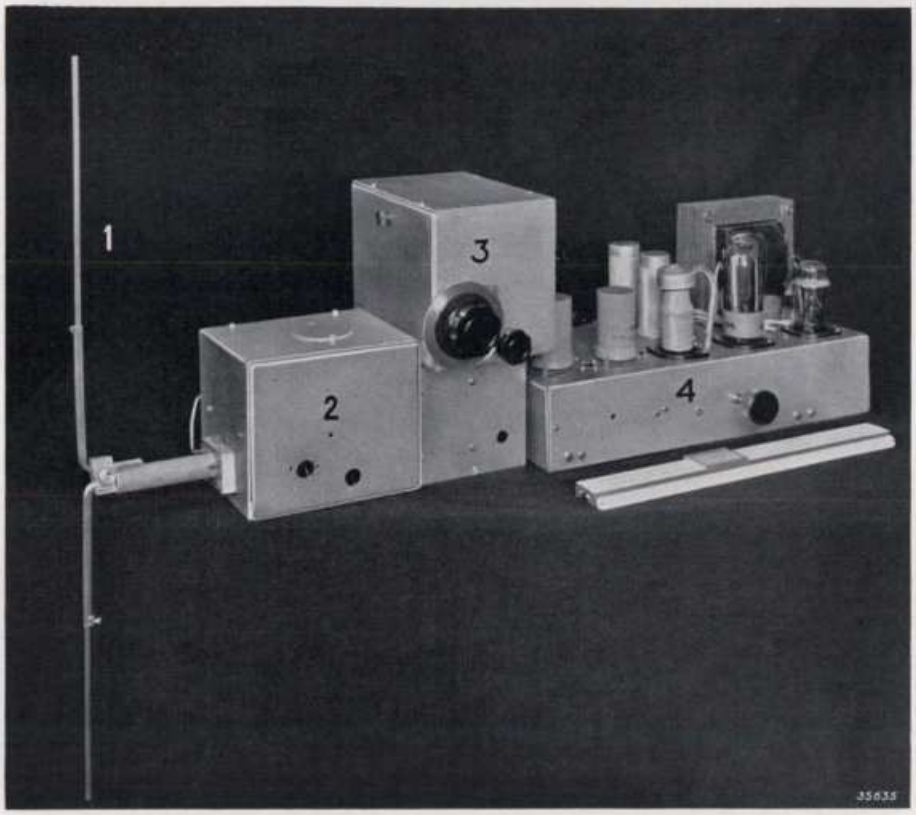


Fig. 9. Complete ontvanger voor signalen met een frequentie van ongeveer $3 \cdot 10^8$ per/sec. *1* dipoolantenne; *2* kast, bevattende de schakeling van fig. 6; *3* mengtrap; *4* middenfrequentie- en laagfrequentie-gedeelte. Ter beoordeeling der afmetingen is rechts een rekenschuif van ongeveer 25 cm lengte te zien.

dus bij de knooppenthode niettegenstaande de kleinere ingangsadmittantie 2 maal minder gunstig dan bij de balansversterkerbuis.

Voor de practische toepassing van de balansversterkerbuis is het van groot belang om te weten, of eventueele kleine verschillen tusschen de twee helften van de buis, welke bij de fabricage kunnen optreden, afbreuk doen aan de werking van het geheel. Dit werd met behulp van de hierboven afgebeelde meetinrichtingen experimenteel onderzocht. Hierbij is gebleken, dat groote verschillen in de anodestroom (bijv. in één buishelft 5 mA, in de andere helft 15 mA) de versterking, de ingangsweerstand en de uitgangsweerstand ten hoogste met enkele procenten doen veranderen.

Dit gunstige gedrag is ook theoretisch te verklaren. Aangezien bij de hooge frequenties van decimetergolven de capacitieve impedanties tusschen kathode, stuurrooster en anode klein zijn ten opzichte van de inwendige weerstand van de buis, zal de anodewisselstroom in de twee helften van het systeem precies in tegenfase loopen, indien men slechts er voor zorgt, dat de uitwendige impedantie van beide systemen t.o.v. aarde dezelfde is, en dat de anodewisselspanning voor beide systemen precies in tegenfase varieert. Aan beide voorwaarden kan worden voldaan door te zorgen, dat de twee helften van de spoel *Sp* (fig. 6) voldoende sterk met elkaar zijn gekoppeld.

Ook al hebben geringe asymmetrieën weinig nadeel voor de versterking van de buis, toch blijft het ongewenscht, dat de eene helft van de buis veel meer gelijkstroom zou leveren dan de andere helft. Men kan dit voorkomen door een juiste keuze van de voedingsweerstanden van elk der schermroosters (zie fig. 6).

Toepassing van de balansversterkerbuis in mengtrappen

In ontvangtoestellen is het ook mogelijk de EFF 50 als mengbuis te bezigen. Hiervoor zijn verschillende schakelingen beproefd. Eén ervan is in *fig. 10* voorgesteld. Verschillende der gunstige eigenschappen van de buis, nl. de geringe ruischweerstand, de groote steilheid en de mogelijkheid om een hooge ingangsweerstand te verkrijgen, zijn ook voor deze toepassing nuttig. Met het schema van fig. 10 kan bij geschikt gekozen spanningen voor elke buishelft een zg. conversiesteilheid van 2,8 mA/V verkregen worden. Deze conversiesteilheid geeft de verhouding aan tusschen de amplitude van het middenfrequente signaal in de anodestroom en de amplitude van het hoogfrequente signaal op het stuurrooster. De versterking (middenfrequente uitgangsspanning gedeeld door hoogfrequente ingangsspanning) is bij het weergegeven schema gelijk aan het product van de conversiesteilheid van één buishelft en de impedantie van de uitgangsketen voor de gebruikte middenfrequentie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

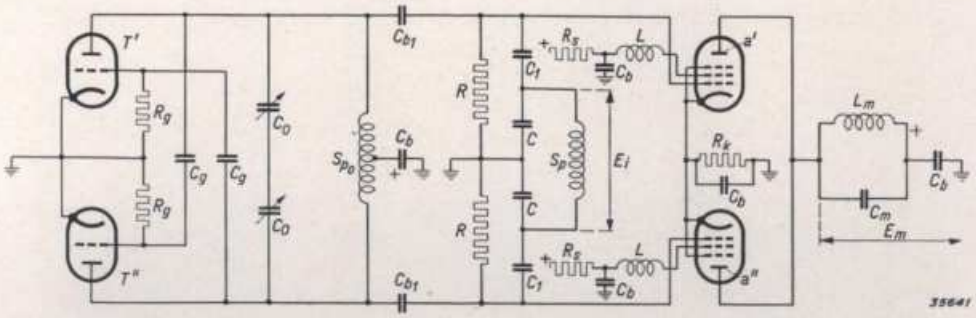


Fig. 10. Schakeling van een mengtrap met behulp van de balansversterkerbuis EFF 50. De ingangsspanning E_i wordt in tegenfase op de beide stuurroosters gezet. Hetzelfde geschiedt via de kleine capaciteiten C_{b1} met de door de trioden T' en T'' opgewekte oscillatorspanning. De benoodigde oscillatorspanning is van de orde van 1 V, terwijl de benoodigde negatieve voorspanning 2 V grooter is dan de oscillatorspanning. De middenfrequente uitgangsspanning E_m wordt in gelijke fase van de beide anoden afgenomen met behulp van de middenfrequentie-kring $L_m\,C_m$. R_g roosterlekweerstanden der trioden; C_g roostercondensatoren der trioden: $C_0\,C_0\,S_{p0}$ oscillatorkring. De overige letters komen met die van fig. 6 overeen.

Indien de mengtrap achter een hoogfrequentieversterkertrap wordt geschakeld, is het gewenscht om de ingangsweerstand van de mengtrap door gebruik van zelfinducties in de schermroosterketen hoog te maken, zooals reeds werd uiteengezet.

De ruischweerstand van de balansversterkerbuis bedraagt bij toepassing in een mengtrap ongeveer 5000 Ω tusschen de ingangsklemmen, hetgeen als uitzonderlijk laag moet worden beschouwd. Verhoogt men de ingangsweerstand van de buis ter verbetering van de versterking van de eerste trap, dan wordt natuurlijk ook het ruischen sterker.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

TECHNISCHE FOTOMETRIE VAN GASONTLADINGSLAMPEN

door P. J. ORANJE.

535.24 : 621.327.4

Voor de contrôle van de fabricage van gasontladingslampen werd een installatie ontworpen, welke het mogelijk maakt om op betrouwbare, snelle en weinig kostbare wijze routinemetingen aan gasontladingslampen te verrichten met een nauwkeurigheid in de lichtstroom van 3%. De installatie bestaat uit 18 fotometers, welke van een centraal punt uit kunnen worden afgelezen. De tijd, noodig voor het opwarmen van de gasontladingslamp in de fotometer, kan worden gebruikt om lampen te meten, die zich in andere fotometers bevinden.

Wanneer het er om gaat dagelijks groote hoeveelheden gekleurde lichtbronnen te meten ter contrôle van de fabricage van gasontladingslampen, komen er behalve de problemen, welke bij de fotometrie van gekleurde lichtbronnen in het algemeen optreden [1]), nog practische moeilijkheden naar voren. Na een uiteenzetting van deze punten willen wij in dit artikel bespreken, hoe in het contrôle-laboratorium van de Philipsfabrieken de lichtstroom van gasontladingslampen op technische schaal wordt bepaald.

Omschrijving van het probleem

In tegenstelling met een onderzoekingslaboratorium verricht een contrôle-laboratorium in het algemeen slechts metingen aan een beperkt aantal typen van lampen, waarbij dan echter in den regel een groot aantal lampen van eenzelfde type achtereenvolgens gemeten moeten worden. Van deze te meten lampen wenscht men de lichtstroom te kennen onder omstandigheden, zooals die in de practijk voorkomen. Men bepaalt derhalve niet (zooals dit bij wetenschappelijk onderzoek veelal geschiedt) de lichtstroom voor een bepaalde stroomsterkte of voor een bepaald vermogen van de lamp, maar de lichtstroom, welke optreedt, wanneer de lamp met een bepaalde, nauwkeurig bekende voorschakelapparatuur op een net van bepaalde spanning is aangesloten en voldoende lang in bedrijf heeft gestaan om zich in de toestand te bevinden, die bij permanent bedrijf optreedt. Deze opwarmtijd van gasontladingslampen kan 15 à 30 min. bedragen.

Het is voornamelijk deze lange duur van het opwarmen, welke bij bedrijfsmetingen van gasontladingslampen als moeilijkheid wordt ondervonden. Laat men nl. de lamp gedurende de geheele opwarmtijd in de fotometer branden, dan is deze door elke meting veel langer „bezet", dan voor het meten zelf noodzakelijk is. Staat de lamp echter gedurende het opwarmen niet in de fotometer, dan moet voor elke meting òf de te meten lamp naar de fotometer òf de fotometer naar de te meten lamp worden verplaatst, hetgeen nadeelen met zich mee brengt, die in het volgende zullen worden toegelicht.

Tegen het verplaatsen van de lamp zijn aan te voeren:

[1]) Zie: Objectieve fotometrie, Philips techn. T. **4**, 278, 1939; De fotometrie van metaaldamplampen, Philips techn. T. **1**, 120, 1936.

Fig. 1. Twee kleine verplaatsbare fotometerbollen, in verschillende stand gefotografeerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

1) Schokken, welke bij het verplaatsen van de lamp gemakkelijk optreden, kunnen de lichtstroom van sommige gasontladingslampen doen veranderen. Speciaal bij natriumlampen kan een verplaatsing van het vloeibare natrium in de buis aanleiding geven tot een blijvende verandering van de lichtstroom.

2) Sommige gasontladingslampen (speciaal kwiklampen) ontsteken na een onderbreking van de voedende spanning niet direct weer, zoodat bij het vervoer van de lampen van brandstand naar meetstand de stroom niet onderbroken mag worden. Dit beteekent een groote complicatie der installatie met veel kans op slechte contacten, slijtage, enz.

De bezwaren tegen het verplaatsen van de fotometer naar de lamp zijn nog ernstiger dan die tegen het verplaatsen van de lamp naar de fotometer:

1) In verband met de eisch, dat de meting snel moet geschieden, is het gewenscht, een objectieve meting met behulp van een lichtgevoelig element uit te voeren. Dit beteekent echter, dat de opstelling zeer teere onderdeelen bevat. Door schokken of stooten kan het element zich iets verplaatsen of beschadigd worden, ook kunnen de contacten lijden, enz.

2) De bol van een verplaatsbare fotometer moet klein zijn (zie *fig. 1*). Dit beteekent, dat de uitkomst geen zuivere maat is voor de lichtstroom, maar ook afhangt van de lichtverdeeling van de lamp, zoodat bijv. kleine afwijkingen van de vorm van de lamp of de huls, niet zuiver centrale opstelling van de lamp, enz., aanzienlijke invloed kunnen hebben op het meetresultaat. Bovendien ondergaat de kleine bol tijdens het meten een aanzienlijke verwarming, welke een merkbare invloed kan hebben op de reflectie-eigenschappen van het inwendige oppervlak en op de gevoeligheid van het fotoelement. De ervaring heeft ons geleerd, dat het tengevolge van deze invloeden met behulp van een verplaatsbare fotometerbol zelfs bij dagelijks ijken practisch niet mogelijk is een hoogere nauwkeurigheid te bereiken dan ongeveer 8%.

Om de besproken bezwaren te vermijden, werd bij de hieronder te beschrijven installatie een groot aantal fotometers naast elkaar opgesteld, zoodat de lamp in de fotometerbol zelf kan opwarmen en

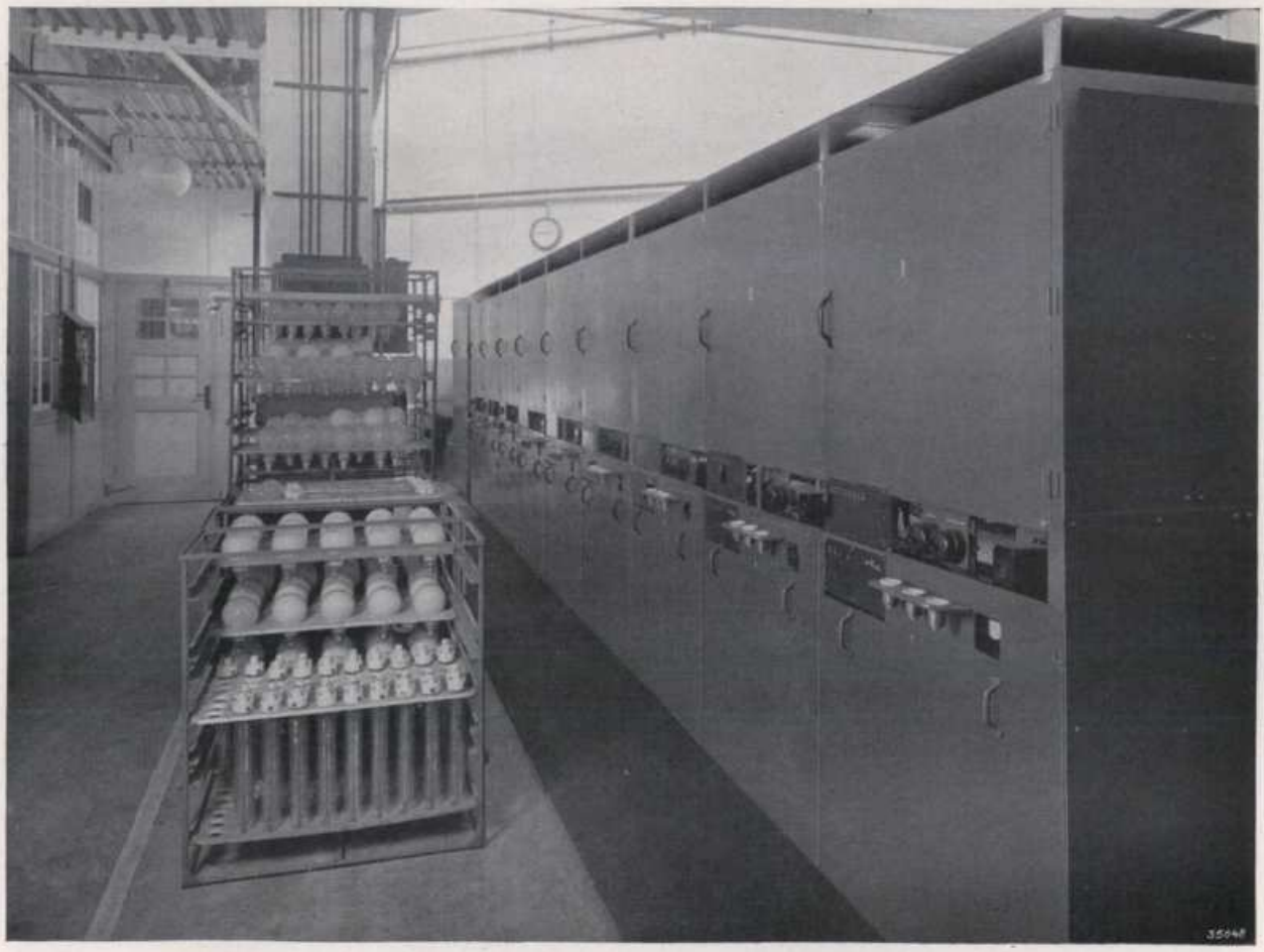


Fig. 2. Rij van negen fotometerkamers, bestemd voor bedrijfsmetingen van gasontladingslampen. De geheele installatie bevat twee dergelijke rijen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

noch de meetinrichting noch de lamp behoeft te worden verplaatst. Om het meten te vergemakkelijken werd de installatie zoodanig ingericht, dat het aflezen van de meetresultaten van een centraal punt uit geschiedt. Alvorens nader in te gaan op de technische uitvoering van de installatie, willen we eerst bespreken, hoe in dit speciale geval de problemen werden opgelost, welke inhaerent zijn aan het heterochroom fotometreeren.

Principe van de gevolgde fotometrische werkwijze

Zooals gezegd, wordt de lichtstroom van de te meten lamp bepaald met behulp van een integreerende fotometer. Hierin bevindt zich een scherm, waarvan de helderheid met behulp van een fotoelement wordt gemeten. Het verband tusschen deze helderheid en de lichtstroom van de te meten lamp wordt bepaald door de fotometer met behulp van een standaardlamp met bekende lichtstroom te ijken.

Indien de spectrale samenstelling van het licht van de vergelijkingslamp afwijkt van die van de te meten gasontladingslamp, is de verhouding van de fotostroomen, welke met behulp van deze twee lampen worden verkregen, alleen dan een maat voor de verhouding van de lichtstroomen, wanneer de spectrale gevoeligheidskromme van het lichtgevoelige element overeenstemt met de internationale ooggevoeligheidskromme. Twee maatregelen zijn derhalve genomen:

Ten eerste wordt een lichtgevoelig element gebruikt, waarvan de spectrale gevoeligheid eenigszins bij die van het oog is aangepast [2]). Ten tweede worden de afwijkingen, welke ontstaan, doordat de overeenstemming tusschen de spectrale gevoeligheden van het foto-element en van het oog niet volmaakt is, — samen met andere fouten, die bij het meten met behulp van een fotometerbol kunnen optreden — aanzienlijk gereduceerd door de installatie alleen te gebruiken voor het vergelijken van lampen van eenzelfde type. De kleuraanpassing van het foto-element behoeft dus slechts zoover te gaan, dat de kleurverschillen tusschen individueele gasontladingslampen van eenzelfde soort geen merkbare fout veroorzaken.

Uitvoering van de installatie

De installatie is samengesteld uit 18 integreerende fotometers. Eenvoudigheidshalve zijn deze niet, zooals gebruikelijk, bolvormig maar kubusvormig (ribbe 0,9 m) uitgevoerd en in twee rijen van 9 „rug aan rug" geplaatst. *Fig. 2* geeft een overzicht van de opstelling. Het gedeelte beneden de schakelaars bevat een aantal nauwkeurig bekende voorschakelapparaturen, terwijl het gedeelte boven de schakelaars de eigenlijke fotometerkamer vormt. In *fig. 3* is een van de fotometers in geopende stand te zien. In het bovenvlak van de fotometerkamer is een gloeilamp aangebracht, welke dient ter contrôle van de fotometer, waarover straks meer. Daarachter en aan een van de zijvlakken zijn twee parallel geschakelde lamphouders gemonteerd, zoo-

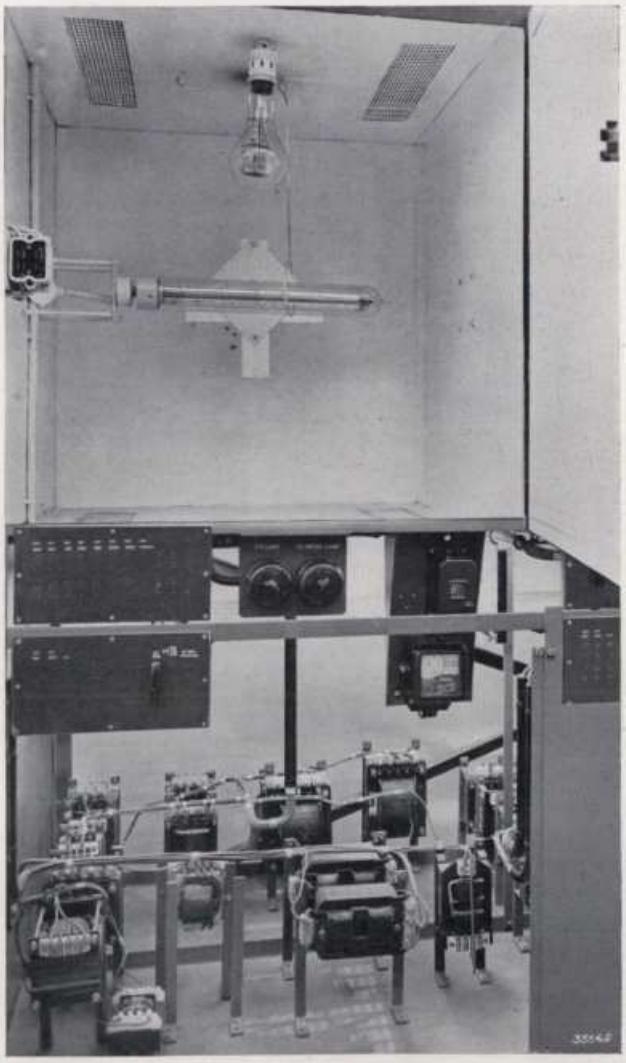


Fig. 3. Een geopende fotometerkamer. Door de gloeilamp heen ziet men een houder, links in de wand bevindt zich een tweede houder voor de te meten gasontladingslamp. In de laatste is een natriumlamp geplaatst. Onder de kamer links het schakelbord, waarmee verschillende voorschakelapparaturen kunnen worden gekozen; in dit geval de apparatuur voor de natriumlamp SO 1000. In het midden de schakelaars voor de gloeilamp en de te meten lamp, rechts het tijdrelais. Onderaan de verschillende voorschakelapparaten voor diverse typen van gasontladingslampen.

[2]) Een dergelijk foto-element kan volgens Dresler worden verwezenlijkt door een selenium-sperlaagcel en eenige filters, welke naast elkaar voor de cel zijn geplaatst en gedeeltelijk over elkaar heen vallen. Door veranderen van de gebiedsdeelen, welke door telkens één, resp. meerdere filters worden bedekt, kan aan het spectrale verloop van de gevoeligheid de gewenschte gedaante worden gegeven. Zie bijv. A. Dresler, Das Licht **3**, 41, 1933; J. Rieck, Das Licht **7**, 115, 137 en 157, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dat het mogelijk is de te meten lamp zoowel in horizontale als in verticale stand te laten branden. Tusschen deze lamphouders en het voedingsnet kan naar keuze één van de voorschakelapparaten geschakeld worden door middel van een speciale steker in het schakelbord, dat onder de fotometer is aangebracht. Bij het sluiten van de deur wordt de stroomkring, waarin de lamp is opgenomen, gesloten, terwijl de contacten steeds spanningsloos zijn bij geopende deur.

In het onder- en bovenvlak van de fotometer zijn geperforeerde stroken aangebracht voor de ventilatie. Aan de achterzijde van de kamer bevindt zich het foto-element, dat op de gebruikelijke wijze afgeschermd is tegen direct licht.

Door middel van twee schakelwalsen is nu de geheele bedrading van iedere fotometer over te schakelen op de centrale meettafel, welke in *fig. 4* is weergegeven. Een uitzondering vormt de leiding voor de stroom van het foto-element. Deze wordt ter vermijding van eventueele storingen, welke bij de zeer lage spanningen van sperlaag-foto-elementen gemakkelijk kunnen optreden, met een afzonderlijke kabel naar een apart schakelbordje op de meettafel gevoerd.

Bij het sluiten van de fotometerdeur wordt een tijdrelais (zie fig. 3 rechts onder de fotometer) ingeschakeld, waardoor na een te voren in te stellen tijd een genummerd neonlampje op de meettafel ontsteekt. Dit is voor degene, die de meettafel bedient, het teeken, dat de lamp voldoend lang gebrand heeft om meetklaar te zijn. Omgekeerd kan ook de meettafel-man naar dengene, die aan de fotometerkast werkt, terug signaleeren, dat een lamp door hem gemeten is.

Een meting verloopt nu als volgt: Allereerst

Fig. 4. Meettafel van de installatie. De verticaal geplaatste instrumenten meten de netspanning en de stroomsterkte (bij gebruik van een transformator primair en secundair afzonderlijk). De schuin op de tafel geplaatste instrumenten meten het totale vermogen. Van de horizontaal gemonteerde meters meet het linker instrument de fotostroom, het rechter instrument de spanning aan de contacten van de lamp. Rechts aan de tafel ziet men de handvatten van de schakelwalsen, welke elk een gedeelte van de fotometerkasten bedienen. Links op de tafel een reeks van schakelaars voor de foto-elementen van de verschillende fotometerkamers. Boven de meters de neonlampen, welke oplichten, nadat de opwarmtijd van de bijbehoorende lamp is verstreken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

wordt een geijkt exemplaar van het te onderzoeken type lamp in de fotometer geplaatst. Het tijdrelais wordt op de benoodigde opwarmtijd ingesteld en de deur wordt gesloten. Zoodra het neonlampje van de betreffende fotometerkamer op de meettafel oplicht, bepaalt de man aan de meettafel de fotostroom, schakelt daarna de gasontladingslamp uit en de gloeilamp in, om opnieuw de fotostroom te bepalen. Uit de verhouding van deze fotostroomen kan de schijnbare lichtstroom van de gloeilamp berekend worden.

Na deze ijking van de fotometerkamer wordt de geijkte gasontladingslamp vervangen door een soortgelijke, te meten gasontladingslamp, en deze wordt gemeten met de gloeilamp als standaardlamp. De bediening van de installatie geschiedt het beste door twee personen: de eene blijft lampen verwisselen, terwijl de andere de metingen uitvoert.

De gevonden lichtstroom van de gloeilamp zal in het algemeen iets van de werkelijke lichtstroom verschillen, omdat de kleuraanpassing van de fotocel niet ideaal is. Dit doet echter niets ter zake, aangezien deze fout precies weer opgeheven wordt, wanneer de gloeilamp daarna als standaard gebruikt wordt voor het meten van een reeks van gasontladingslampen van hetzelfde type. In principe had men even goed de gloeilamp kunnen weglaten en de gasontladingslamp rechtstreeks met het geijkte exemplaar kunnen vergelijken. Het tusschenschakelen van de gloeilamp heeft echter het voordeel, dat deze permanent aanwezige, goed constante en snel in te schakelen lichtbron het gemakkelijk maakt om door tusschentijdsche contrôles rekening te houden met een eventueel verloopen van de gevoeligheid van de fotometer, zoodat de ijking van de fotometer gedurende eenige weken niet behoeft te worden herhaald.

Zooals reeds gezegd werd, is dank zij het uitsluitend uitvoeren van vergelijkende metingen aan eenzelfde lamptype de invloed van tal van mogelijke foutenbronnen (selectieve reflectie van de binnenwand, ongelijkmatige waardeering van de lichtuitstraling naar verschillende richtingen, verschil tusschen de gevoeligheidskrommen van foto-element en oog, schaduwwerking van de lamp, enz.) tot een minimum gereduceerd. De bereikte nauwkeurigheid, welke op 3% kan worden geraamd, moet dan ook voor bedrijfsmetingen als hoog worden beschouwd.

De capaciteit van de installatie hangt af van de aard van de te meten lampen en wordt in hoofdzaak door de opwarmtijd bepaald. Bijv. kunnen per uur ca. 75 HP-lampen (kleine luchtgekoelde kwiklampen) gemeten worden, terwijl dit aantal voor natriumlampen veel kleiner is, daar deze lampen na de meting in de fotometer moeten afkoelen, tot het natrium weer gestold is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

PROEVEN MET STEREOFOONPLATEN

door K. de BOER.

534.76 : 534.85

Bij de reeds eerder behandelde methode voor stereofonische geluidsweergave moeten voor de overbrenging twee kanalen ter beschikking staan. Met name moeten, wanneer men een dergelijke weergave in de vorm van „stereofoonplaten" wil vastleggen, op de gramofoonplaat twee geluidsporen aangebracht worden, die gelijktijdig door twee geluidopnemers kunnen worden afgetast. In de practisch toe te passen opstelling treden hierbij naast de intensiteits- en tijdsverschillen, die de plaats van het „geluidsbeeld" bepalen, nog extra tijdsverschillen op, die een geleidelijke of een oscilleerende verschuiving van het geluidsbeeld tengevolge hebben. De maatregelen en de toleranties worden besproken, waarmede deze verschuivingen binnen de gewenschte grenzen kunnen worden gehouden.

Inleiding

Bij de methode voor stereofonische geluidsweergave (weergave met behoud van een gewaarwording der plaatsen van de verschillende geluidsbronnen), die onlangs in dit tijdschrift werd besproken [1]), wordt het geluid op twee plaatsen in de opnameruimte opgevangen, langs twee gescheiden kanalen geleid en in de ontvangruimte op twee plaatsen weergegeven. De twee microfoons voor de opname kunnen bijv. aan weerskanten van een bol (een „kunsthoofd") zijn aangebracht. De weergave kan plaats vinden, hetzij met twee hoofdtelefoons, hetzij met twee luidsprekers, die bijv. op de in *fig. 1* geschetste wijze worden opgesteld.

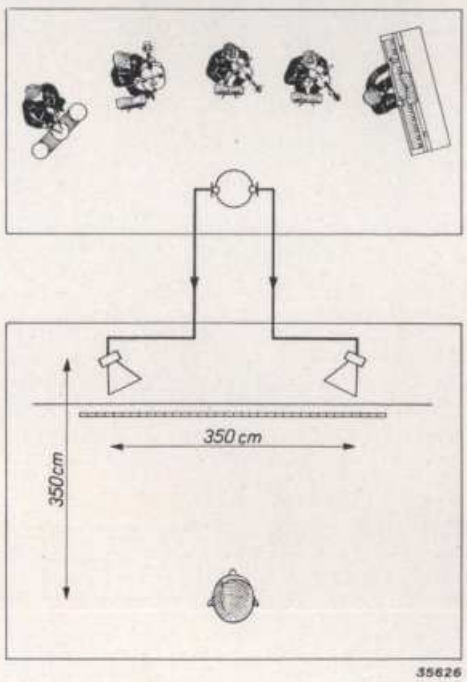


Fig. 1. Schema van een stereofonische geluidsoverdracht. In de opnameruimte (boven) twee microfoons aan weerskanten van een bol („kunsthoofd"); twee kanalen naar de weergaveruimte (onder); hierin twee luidsprekers links en rechts vóór de toehoorder. Bij onze proeven waren meestal de aangegeven afstanden gekozen. Op de meetlat vóór de luidsprekers kan het geluidsbeeld op enkele cm nauwkeurig worden gelocaliseerd.

[1]) Philips techn. T. 5, 112, 1940 (April).

In het genoemde artikel hebben we aangetoond, dat met een dergelijke opstelling een goede stereofonische weergave mogelijk is. De practische consequenties van de eisch, dat twee kanalen (versterkers + transmissielijnen) gebruikt moeten worden, hebben we daarbij nog in het midden gelaten. Naar gelang van het toepassingsgebied der stereofonische weergave brengt deze eisch geheel verschillende problemen met zich mede — verschillend naar hun aard en hun belangrijkheid. Bij de toepassing bijv. voor bioscopen — wellicht een der belangrijkste — zal het in principe geen moeilijkheden geven om een tweede kanaal, dat hier zou moeten bestaan in een tweede geluidspoor op de filmband, te scheppen. In de omroep is het probleem moeilijker: twee gescheiden kanalen in de vorm van twee op verschillende golf werkende zendinstallaties voor één uitzending zullen hier nauwelijks ter beschikking kunnen staan. Misschien zal het mogelijk blijken, de twee zijbanden aan weerskanten van één draaggolf als gescheiden kanalen te gebruiken. Een verdere toepassingsmogelijkheid, die we hier willen noemen, is het plastisch hoorbaar maken van een orkest in verschillende zalen tegelijk van een restaurant of dergelijken. Hierbij is voor het tweede kanaal slechts een extra versterker en eenige tientallen meter kabel noodig.

Voor het experimenteeren met opstellingen voor stereofonische weergave, alsook algemeen voor het practische gebruik hiervan, is het gewenscht om te beschikken over geregistreerde stereofonische muziek en spraak. Met het oog hierop zijn in dit laboratorium proeven gedaan voor het vastleggen van stereofonisch geluid op gramofoonplaten. Bij dergelijke „stereofoonplaten" moeten de twee geluidsbijdragen, die de microfoons opvangen, elk in een afzonderlijk geluidspoor op de plaat worden geregistreerd. Men kan dit op verschillende manieren doen. Een methode zou bijv. zijn, om de twee geluidsporen op de beide zijden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

van een plaat aan te brengen en bij de weergave beide zijden tegelijk door twee geluidopnemers af te tasten. De plaat zou hiervoor voldoende stijf moeten zijn, maar bovenal zou deze methode meebrengen, dat geheel nieuwe gramofoonconstructies moeten worden ontwikkeld. Een eenvoudiger procédé is het verdeelen van het plaatoppervlak in twee zônes, waarvan de binnenste het ééne, de buitenste het andere geluidspoor bevat. Dergelijke platen kunnen met het in dit tijdschrift beschreven toestel voor geluidsregistratie [2]) gemakkelijk worden verkregen, door op de transportas twee geluidschrijvers naast elkaar aan te brengen, die ieder uit één der microfoons worden gevoed. In *fig. 2* is deze opstelling weergegeven.

Fig. 2. Toestel voor geluidsregistratie op platen, ingericht voor stereofonische opnamen. Op de transportas zijn twee geluidschrijvers gezet, die ieder uit één der beide microfoons worden gevoed en respectievelijk een geluidspoor in de binnenste en buitenste zône van de plaat snijden.

In het reeds aangehaalde artikel [1]) is uiteengezet, dat de richtingsgewaarwording haar grondslag vindt in kleine verschillen in de intensiteit en in de aankomsttijd der twee geluidsbijdragen, die onze beide ooren treffen. Deze intensiteits- en tijdsverschillen moeten in de twee geluidsporen op de stereofoonplaat getrouw vastgelegd zijn en bij het afspelen evenzoo gereproduceerd worden. Nu treden bij het afspelen door verschillende oorzaken nog extra tijdsverschillen tusschen de beide geluidsbijdragen op, waardoor de door de luisteraar waargenomen plaats van de geluidsbron (het „geluidsbeeld") een verschuiving ondergaat. Het is wellicht niet oninteressant, de eigenaardige moeilijkheden, die hiermee verband houden, wat meer in detail te bespreken, vooral ook omdat zij een goede illustratie vormen voor de bijzonderheden eener stereofonische weergave.

[2]) K. de Boer en A. Th. van Urk, Een eenvoudig toestel voor geluidsregistratie, Philips techn. T. 4, 111, 1939.

Beweging van de aftastende naald

Bij het registreeren wordt de geluidschrijver door de transportas over de plaat voortbewogen langs een rechte lijn, die samenvalt met een straal van de plaat [3]). Bij de weergave daarentegen is de geluidopnemer aan het uiteinde van een draaibare arm bevestigd en beschrijft dus op de plaat een cirkelboog. Dit is onvermijdelijk, wanneer men een voldoende levensduur van de plaat waarborgen wil. Immers, bij de weergave moeten de spiraalvormige groeven van het geluidspoor zelf voor het radiaal verschuiven van de naaldpunt zorgen, en ter beperking van het slijten der groeven is het gewenscht, dat zij hiervoor slechts een uiterst geringe kracht op de naald behoeven uit te oefenen. Een rechtgeleiding van de naald, zij het door middel van een rail of door één der (uit de cinematica bekende) hiervoor dienende gewrichtsconstructies, zou echter — wanneer men de speling in de stand van de geluidopnemer in de vereischte mate wil beperken — steeds vrij groote wrijvingskrachten met zich medebrengen.

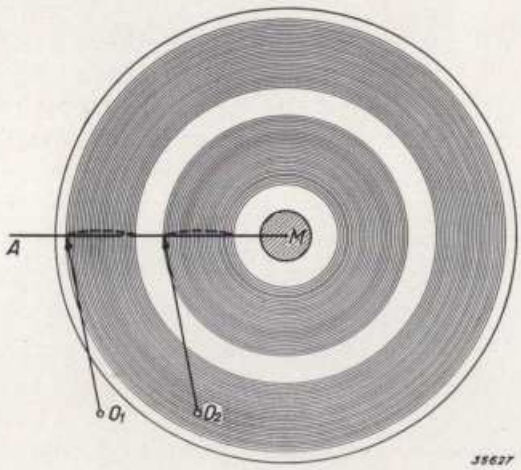


Fig. 3. Stereofoonplaat, met geluidsporen in twee zônes. Bij het registreeren hebben de beide naaldpunten zich langs de rechte lijn AM bewogen, bij het weergeven beschrijven zij de beide cirkelbogen om de draaipunten O_1 en O_2 der opnemerarmen.

Doordat nu de naaldpunt bij de weergave een andere baan op de plaat beschrijft dan bij de opname, ontstaan er tijdsverschillen. De arm van de geluidopnemer zij voor beide geluidsporen zoodanig opgesteld, dat aan het begin en aan het eind van het afspelen de naaldpunten juist op de rechte lijn van het opnemen komen te staan; zie *fig. 3*. Men ziet, dat tijdens het afspelen beide geluidsbijdragen een eerst geleidelijk toenemende, dan weer af-

[3]) In werkelijkheid laat men om practische redenen de naaldpunt op een lijn bewegen, die eenige mm aan de plaatas voorbij loopt. De invloed hiervan op de resultaten der volgende beschouwingen is echter te verwaarloozen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

nemende vertraging ondervinden. Dit zou nog geen verschuiving van het geluidsbeeld veroorzaken, wanneer de vertraging voor beide geluidsbijdragen steeds even groot was. Dat is echter niet het geval: al is de afwijking van de naald op beide sporen dezelfde (fig. 3), tengevolge van de verschillende snelheid der plaat op verschillende afstanden van de as beantwoorden hieraan toch niet dezelfde tijdsverschillen.

Het ontstaande onderlinge tijdsverschil der twee geluidsbijdragen kunnen we gemakkelijk berekenen.

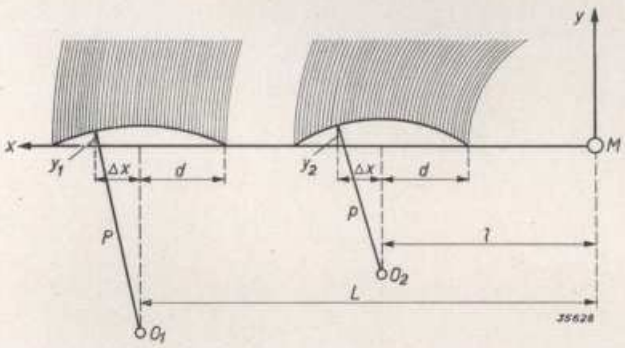


Fig. 4. Meetkundige configuratie van de banen der naaldpunten bij opname en weergave, ter berekening van de optredende onderlinge tijdsverschillen der twee geluidsbijdragen.

We voeren het in *fig. 4* aangegeven coordinatenstelsel x, y in, noemen de middelste straal van de beide zônes L resp. l, de breedte der zônes $2d$, en de lengte der armen, waaraan de geluidopnemers zijn bevestigd, P resp. p. Tusschen de verschuiving Δx van de naald uit het midden der zône en haar afwijking y_1 resp. y_2 van de rechte opnamelijn bestaat dan het verband

$$\Delta x^2 + (y_1 + \sqrt{P^2 - d^2})^2 = P^2,$$
$$\Delta x^2 + (y_2 + \sqrt{p^2 - d^2})^2 = p^2.$$

Voor voldoend groote armlengten P en p kan men dit vereenvoudigen tot

$$y_1 = \frac{d^2 - \Delta x^2}{2P}\,;\, y_2 = \frac{d^2 - \Delta x^2}{2p} \quad \ldots \quad (1)$$

Nu is de plaatsnelheid ter plaatse Δx:

$$\left.\begin{aligned} &\text{in de buitenste zône} \quad v_1 = 2\pi n(L + \Delta x),\\ &\text{in de binnenste zône} \quad v_2 = 2\pi n\,(l + \Delta x),\end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (2)$$

wanneer n het toerental der plaat per seconde beteekent. De vertraging van het geluid ter plaatse Δx is

$$\Delta t_1 = \frac{y_1}{v_1} \text{ resp. } \Delta t_2 = \frac{y_2}{v_2}, \quad \ldots \quad (3)$$

dus het onderlinge tijdsverschil, na invullen van (1) en (2):

$$\Delta t = \Delta t_1 - \Delta t_2 = \frac{d^2 - \Delta x^2}{4\pi n}\left[\frac{1}{P(L + \Delta x)} - \frac{1}{p\,(l + \Delta x)}\right].$$

Deze uitdrukking heeft een maximum in de buurt van $\Delta x = 0$ (ongeveer in het midden der zônes). Hiervoor is

$$\Delta t_0 = \frac{d^2}{4\pi n}\left(\frac{1}{PL} - \frac{1}{pl}\right). \quad \ldots \quad (4)$$

Bij onze proeven hebben we steeds met de volgende, practisch geschikte afmetingen gewerkt: $L = 12{,}45$ cm, $l = 7{,}35$ cm, $d = 1{,}85$ cm; n is normaal 78/60 omw/sec. Nemen we in eerste instantie voor P en p de gebruikelijke lengte van 20 cm, dan is:

$$\Delta t_0 = 5{,}8 \cdot 10^{-4} \text{ sec.}$$

Nu hebben we in het reeds herhaaldelijk genoemde artikel [1]) gezien, dat de hoekverschuivingen van het geluidsbeeld, die door diverse gelijktijdig optredende intensiteits- en tijdsverschillen veroorzaakt worden, additief zijn, en dat speciaal tusschen de tijdsverschillen en de hierdoor veroorzaakte draaiingen het in *fig. 5* weergegeven verband bestaat. Wanneer het oorspronkelijke geluidsbeeld, in de in fig. 1 geschetste opstelling, zich precies in het midden van de meetlat bevond, beantwoordt volgens fig. 5 aan het berekende tijdsverschil Δt_0 een verschuiving van 46 cm. Bevat de gramofoonplaat bijv. een muziekstuk, uitgevoerd door een strijkje, dan zou men dus het middelste instrument halverwege de uitvoering bijna een halven meter van zijn beginplaats verschoven hooren. Dit is natuurlijk zeer ongewenscht. Er is echter gebleken, dat een verschuiving van niet meer dan 20 cm wel toelaatbaar mag worden geacht, hetgeen een tijdsverschil van $2{,}4 \cdot 10^{-4}$ sec beteekent.

Men zou het tijdsverschil Δt_0 tot deze grootte kunnen beperken door de (onderling gelijke) armen P en p voldoende lang te maken. Immers,

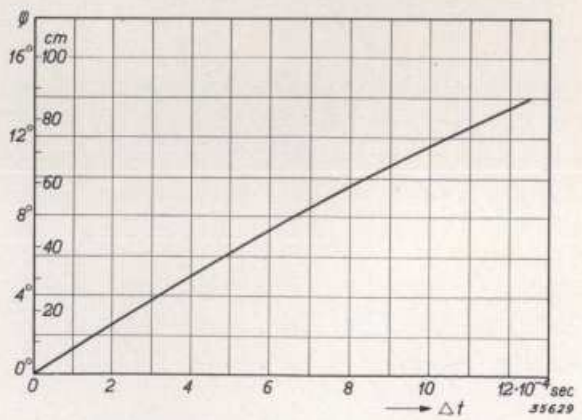


Fig. 5. Hoekverdraaiing φ (resp. verschuiving) van het geluidsbeeld, die veroorzaakt wordt door een tijdsverschil Δt_0.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

uit verg. (4) volgt, dat Δt_0 omgekeerd evenredig met deze lengte is. In ons geval zou $P = p = 20 \cdot 5{,}8/2{,}4 = 48$ cm lang gemaakt moeten worden, zoodat een nogal onhandig groote constructie ontstaat. Een betere methode is het, de armen P en p van ongelijke lengte te kiezen en wel zoodanig, dat

$$PL = p\,l \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Dan wordt volgens verg. (4) $\Delta t_0 = 0$. Het onderlinge tijdsverschil der twee geluidsbijdragen verdwijnt dus niet alleen aan begin en einde van het geluidspoor, maar ook in het midden ervan. Het tijdsverschil, dat nog tusschentijds kan optreden, wordt, zooals een nadere berekening leert, hoogstens $0{,}4 \cdot 10^{-4}$ sec. De hieraan beantwoordende maximale verschuiving van het geluidsbeeld bedraagt ongeveer 4 cm, is dus geheel onschadelijk.

Voor de bovengenoemde afmetingen wordt (5):

$$P = 0{,}59\,p.$$

Maakt men de arm P voor de buitenste zône 20 cm lang, dan moet die van de binnenste $p = 34$ cm lang worden. In *fig. 6* is een foto van een dergelijke opstelling te zien.

Fig. 6. Opstelling voor het weergeven van stereofoonplaten. De arm van de buitenste geluidopnemer is in een bepaalde verhouding (verg. 5) korter gekozen dan die van de binnenste.

De plaatsing der naaldpunten

Een andere mogelijke oorzaak van extra tijdsverschillen tusschen de twee geluidsbijdragen zijn kleine fouten, die gemaakt worden bij het opzetten der beide naaldpunten, die op onderling overeenkomende plaatsen van de twee geluidsporen moeten worden gezet. Om dit te kunnen doen, wordt aan begin en eind van de opname met elke schrijver een kleine radiale kras naast het geluidspoor aangebracht. Bij de weergave moet men door regelen van de lengte der opnemer-armen er voor zorgen, dat de naalden in deze krasjes komen te staan. Stel nu, dat hierbij een afwijking $\pm\,\varepsilon$ optreedt (*fig. 7*). Deze zal dan tijdens het afspelen van de geheele plaat onveranderd aanwezig blijven. Het tijdsverschil tusschen de twee geluidsbijdragen is

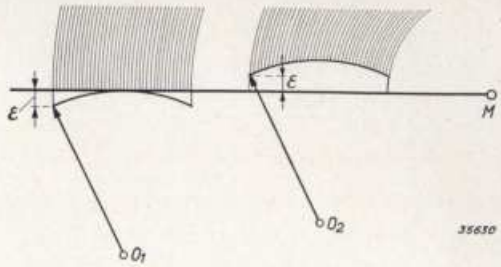


Fig. 7. Bij het plaatsen der naaldpunten op onderling overeenkomende punten der twee geluidsporen kan een kleine fout ε binnensluipen.

volgens verg. (3), wanneer we het ongunstigste geval onderstellen, dat $y_1 = \varepsilon$ en $y_2 = -\varepsilon$:

$$\Delta t = \varepsilon \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right).$$

Dus, na invullen van verg. (2):

$$\Delta t = \frac{\varepsilon}{2\pi n}\left(\frac{1}{L + \Delta x} + \frac{1}{l + \Delta x}\right).$$

Men ziet gemakkelijk in, dat deze uitdrukking tijdens het afspelen van de plaat (waarbij Δx van $+d$ over nul tot $-d$ varieert) geen maximum doorloopt, maar gestadig toeneemt van een beginwaarde Δt_a tot een eindwaarde Δt_e. We kunnen het tijdsverschil samengesteld denken uit een constant deel Δt_a en een van nul tot $\Delta t_{\max} = \Delta t_e - \Delta t_a$ toenemend deel. Nu kan de hoekverschuiving van het geluidsbeeld door het constante deel Δt_a (het tijdsverschil aan het begin van de plaat) buiten beschouwing worden gelaten. Deze kan nl., dank zij de reeds genoemde additiviteit, eenvoudig gecompenseerd worden door met behulp van de volumeregelaars der beide versterkers een zoodanig (constant) intensiteitsverschil tusschen de twee geluidsbijdragen aan te brengen, dat juist een tegengesteld gelijke verschuiving van het geluidsbeeld wordt bewerkstelligd. Rest dus het gestadig van nul toenemende gedeelte van het tijdsverschil, dat een tijdens het afspelen geleidelijk grooter wordende verschuiving van het geluidsbeeld meebrengt. Aan het einde van de plaat is dit tijdsverschil geworden:

$$\Delta t_{\max} = \frac{\varepsilon}{2\pi n}\left[\left(\frac{1}{L-d} + \frac{1}{l-d}\right) - \left(\frac{1}{L+d} + \frac{1}{l+d}\right)\right].$$

Invullen van de hierboven aangegeven getalwaarden voor n, L, l, d levert

$$\Delta t_{\max} = 0{,}012 \cdot \varepsilon.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Eischen we nu weer, dat de uiteindelijke verschuiving van het geluidsbeeld hoogstens 20 cm mag bedragen, dwz. $\Delta t_{max} \leqq 2{,}4 \cdot 10^{-4}$ sec, dan volgt hieruit voor ε de waarde 0,2 mm. Dit is dus de maximale fout, die bij het opzetten van elke naaldpunt mag worden gemaakt.

Excentriciteit van de gramofoonas

Wanneer het gat in het midden van de gramofoonplaat wat ruim is ten opzichte van de as van de draaitafel, kan de plaat bij het opleggen eenigszins excentrisch komen te staan. Bij de gewone weergave heeft dit geen ander gevolg dan een geringe, in het algemeen niet hinderlijke, zweving der tonen. In het geval van een stereofonische weergave echter treedt hierbij een nieuw effect op, nl. een oscilleeren van het geluidsbeeld met de frequentie n (toerental der plaat). Dit is als volgt in te zien. In *fig. 8* is de plaat, die excentrisch op de as is gezet, in twee extreme standen geteekend. We kunnen in het midden laten, of het hierbij om het opnemen dan wel weergeven gaat, en willen slechts eenvoudigheidshalve onderstellen, dat bij één der beide handelingen de plaat precies centrisch zal liggen, en dat de naaldpunten zoowel bij het opnemen als het weergeven precies langs de radiale lijn AM loopen. Stel nu, dat de plaat in stand I is en dat de buitenste geluidopnemer zich in punt P bevindt. Het hiermee correspondeerende punt in de binnenzône der plaat is Q_1; de hierbij behoorende naaldpunt bevindt zich echter in Q, de geluidsbijdrage van de binnenzône is dus iets achter. Na een halve omwenteling is de plaat in stand II, en wanneer nù de buitenste geluidopnemer in P staat, zou de binnenste zich in Q_2 moeten bevinden, terwijl hij toch in werkelijkheid in Q staat; nu is de geluidsbijdrage der binnenzône dus vóór. Het resultaat is een periodiek van teeken wisselend tijdsverschil tusschen de twee geluidsbijdragen, dus een oscilleeren van het geluidsbeeld om een middelsten stand.

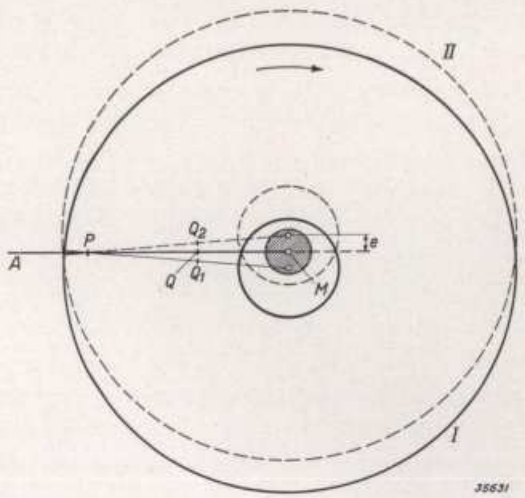


Fig. 8. De as van de draaitafel ligt met een excentriciteit e in het gat van de gramofoonplaat. De naaldpunten onderstellen we eenvoudigheidshalve bij opname en weergave langs de lijn AM te bewegen. Op een gegeven oogenblik staan zij bijv. in P en Q. Bij stand I der plaat zou de binnenste geluidopnemer feitelijk in Q_1 moeten staan, bij stand II der plaat in Q_2. Het geluid der binnenste zône komt dus bij de weergave periodiek iets achter resp. vóór ten opzichte van dat der buitenste zône.

De ervaring leert, dat een dergelijk oscilleeren, mits de frequentie grooter dan $^1/_3$ per/sec is, wordt geïnterpreteerd als een onscherpte van het geluidsbeeld. Dit heeft als het ware een breedte, ongeveer gelijk aan de dubbele amplitude van de heen en weer gaande beweging. Het effect is niet hinderlijk, wanneer deze amplitude niet grooter is dan ongeveer 5 cm, dus het maximale tijdsverschil $\Delta t < 0{,}6 \cdot 10^{-4}$ sec. Hieruit kan de toelaatbare excentriciteit van de as gemakkelijk berekend worden. Uit fig. 8 volgt, dat de amplitude der afwijking in plaats tusschen de twee naaldpunten bedraagt

$$^1/_2 Q_1 Q_2 = \frac{L - l}{L + \Delta x} \cdot e,$$

waarbij e de excentriciteit (afstand der middelpunten van as en plaat) beteekent en de overige benamingen dezelfde zijn als hierboven. Het tijdsverschil is volgens verg. (3) en (2)

$$\Delta t = {}^1/_2 \frac{Q_1 Q_2}{v_2} = \frac{(L - l)\, e}{2\pi n\, (L + \Delta x)\, (l + \Delta x)}.$$

Δt bereikt zijn grootste waarde bij $\Delta x = -d$ (aan het eind der plaat). Met de reeds gebruikte getalwaarden vindt men:

$$\Delta t_{max} = 0{,}0107 \cdot e,$$

dus de toelaatbare excentriciteit:

$$e = \frac{0{,}6 \cdot 10^{-4}}{0{,}0107} = 0{,}006 \text{ cm}.$$

Daar de excentriciteit hoogstens gelijk aan het halve verschil der diameters van de as en van het gat in de plaat kan zijn, wordt de onscherpte van het geluidsbeeld met zekerheid binnen de gewenschte grenzen gehouden, wanneer men de tolerantie voor de diameter van het gat op 0,1 mm stelt. Door een geschikte constructie van de as der draaitafel is het ook mogelijk, de excentriciteit en daarmee het oscilleeren van het geluidsbeeld geheel te onderdrukken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

1480: A. Bouwers and J. H. van der Tuuk: Further experiments with X-ray tubes for high voltages up to one million volts (Brit. J. Radiol. **12**, 658-666, Dec. 1939).

Een verbeterde afgesmolten röntgenbuis voor spanningen tot 1 millioen volt wordt beschreven. Gebruikt men een filter van 2,5 mm koper, dan bedraagt de straling bij 800 kV gelijkspanning en een buisstroom van 1 mA op 1 m afstand van de brandvlek ongeveer 14 röntgen/min. De halfwaarde-dikte van de straling kan bij deze buis tot 103 mm koper, resp. 4,2 mm lood bedragen. De dikte van het loodscherm, waardoor de intensiteit van de straling tot beneden de tolerantiedosis wordt gereduceerd, bedraagt bij 1 millioen volt en 1 mA voor de primaire straling 9 cm, voor de in het bestraalde lichaam verstrooide straling slechts enkele mm. Verder werd de aard van de straling 10 en 20 cm onder het huidoppervlak met behulp van een fantoom van water onderzocht. Tenslotte werd de intensiteit en de hardheid van de straling in de richting van de invallende electronen gemeten en aanmerkelijk grooter gevonden, dan in een richting loodrecht hierop.

1481*: M. J. O. Strutt: Measurements of currents and voltages down to a wavelength of 20 centimeters (Proc. Inst. Rad. Eng. **27**, 783-789, Dec. 1939).

Een Engelsche bewerking van een oorspronkelijk in het Duitsch geschreven artikel, dat onder **1430** is gerefereerd.

1482: J. M. Stevels: De berekening van de kookpunten van eenvoudige verbindingen (Natuurwet. T. **21**, 256-262, 1939).

In dit artikel wordt een samenvattend overzicht gegeven van de wijze, waarop de kookpunten van eenvoudige organische verbindingen berekend kunnen worden uit drie verschillende bijdragen tot de cohesie van de verbinding. Voor de inhoud kan verwezen worden naar **1407**, **1408** en **1462**.

1483: W. de Groot: De internationale temperatuurschaal voor temperaturen boven 1000 °C (Ned. T. Natuurk. **7**, 34-48, Jan. 1940).

Een kritische discussie wordt gegeven van de beginselen, die ten grondslag liggen aan de internationale temperatuurschaal boven 1063 °C, zooals deze door de optische pyrometrie wordt gedefinieerd. De nauwkeurigheid der metingen wordt besproken, en een lijst van vaste punten op de temperatuurschaal, zooals die korte tijd geleden in verschillende laboratoria is bepaald, wordt gegeven. Op de onzekerheid in de constante c_2 uit de stralingsformule van Planck wordt nader ingegaan.

1484: F. A. Kröger: Luminescence and absorption of zincsulfide, cadmiumsulfide and their solid solutions (Physica **7**, 1-12, Jan. 1940).

Bij ZnS, CdS en ZnS-CdS mengkristallen werd een nieuwe emissie aangetoond bij een temperatuur van —180 °C. De gevonden emissiebanden bestaan uit minstens vijf gedeelten, die op gelijke afstanden zijn gelegen: de grens van de emissiebanden aan de kant van de korte golven valt samen met de grens van de fundamenteele absorptiebanden aan de kant van de lange golven.

De emissiebanden werden daarbij verklaard als combinatiefrequenties tengevolge van de overgang van één electron met een trilling. Met behulp van deze emissiebanden en eenige nieuwe absorptiemetingen is vastgesteld, dat in de reeks der mengkristallen ZnS-CdS de rand van het fundamenteele absorptiegebied continu verschuift van ZnS tot CdS.

ZnO vertoont in het ultraviolet een emissie en een absorptie, die volkomen gelijken op die van ZnS en CdS.

*) Van publicaties, gemerkt met een *, is geen voor verspreiding voldoend aantal overdrukken beschikbaar. Van de andere publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gaarne overdrukken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!